

Universidad Nacional de Córdoba
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
Facultad de Ciencias Médicas
Ingeniería Biomédica

Prototipo de herramienta para la rehabilitación auditiva del sonido espacial basada en realidad virtual



Alumnos:

Beinotti, Gabriel Eduardo – 42260052

Asesores:

Dr. Ing. Nieva, Eduardo Gabriel

Lic. Nieva, Juan Pablo



Córdoba, octubre de 2023

Índice

1 Índice de Ilustraciones	4
2 Índice de tablas	5
3 Agradecimientos	6
4 Resumen	7
4.1 Palabras Clave	7
5 Abstract	8
5.1 Keywords	8
6 Introducción	9
6.1 Presentación de la problemática/caso o situación. Necesidades detectadas.	10
6.2 Motivación	10
7 Objetivos	10
7.1 Objetivos generales	10
7.2 Objetivos específicos	10
8 Marco Teórico	11
8.1 Fisiología de la audición	11
8.1.1 Detección espacial de la audición	12
8.1.2 Discriminación de sonidos simultáneos en la audición.	12
8.1.3 Detección de la intensidad del sonido	12
8.2 Realidad virtual	13
8.3 Motor de juego	13
8.3.1 Unity	13
8.3.2 Kit de desarrollo de software	14
8.3.3 Desarrollo de entornos en realidad virtual	14
8.4 Terapias de rehabilitación auditiva	15
8.5 Aplicaciones de realidad virtual en la fonoaudiología	16
8.5.1 Aplicaciones de realidad virtual en percepción espacial del sonido	16
8.5.1.1 ReviAPP	16
8.5.1.2 Harvi	17
9 Alcance del proyecto	18
10 Materiales y Métodos	19
10.1 Diseños	19
10.2 Métodos y técnicas utilizadas	21
10.2.1 Hardware	21
10.2.2 Software	21
10.2.3 Integración	23
10.2.4 Metodología de prueba	24
11 Implementación	26
11.1 Fabricación y realización	26
11.1.1 Desarrollo de niveles en realidad virtual	30
11.2 Pruebas / validaciones	33
12 Resultados	34

12.1 Resultados por área temática	34
12.1.1 Uso y funcionalidad	34
12.1.2 Motivación e Intereses	36
12.1.3 Eficacia de entrenamiento	38
12.2 Análisis de costos	40
12.2.1 Mano de obra	40
12.2.2 Hardware	41
12.2.3 Total	41
13 Discusión	42
14 Conclusiones	44
15 Trabajos futuros	45
16 Bibliografía y Referencias	46
17 Anexos	49
17.1 Anexo I - Acuerdo de consentimiento informado y confidencialidad	49
17.2 Anexo II - Test de Likert	51
17.3 Anexo III - Respuestas Test de Likert	55

1 Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Estructura del sistema auditivo [8]	11
Ilustración 2: Gafas Meta Quest 2 [11]	13
Ilustración 3: Arquitectura de software en realidad virtual en Unity [15]	14
Ilustración 4: Flujo de trabajo en Unity [16]	15
Ilustración 5: Funcionamiento aplicación ReviApp [24]	17
Ilustración 6: Funcionamiento aplicación Harvi [25]	17
Ilustración 7: Prototipo esquemático de diseño	19
Ilustración 8: Diagrama de flujo de la aplicación	19
Ilustración 9: Diagrama esquemático de la herramienta desarrollada	20
Ilustración 10: Escena predeterminada de unity [29]	21
Ilustración 11: Script predeterminado de unity	22
Ilustración 12: Algunos “Assets” importados en el proyecto	22
Ilustración 13: Esquema de diseño	23
Ilustración 14: Prueba en sala sonoamortiguada	24
Ilustración 15: Motor de desarrollo Godot	26
Ilustración 16: Motor de desarrollo Unity	26
Ilustración 17: Primer prototipo en Unity	27
Ilustración 18: Desarrollo de la Primer IU	27
Ilustración 19: Primer prototipo jugable	28
Ilustración 20: Diagrama de retroalimentación de la herramienta	29
Ilustración 21: Dificultad 1 - Detección del sonido	30
Ilustración 22: Dificultad 2 - Detección + localización	31
Ilustración 23: Dificultad 2 - Detección + localización con ayuda visual	31
Ilustración 24: Dificultad 4 - Integración total – Nivel Musical	32
Ilustración 25: Dificultad 4 - Integración total – Nivel Animal	33
Ilustración 26: Gráfico de resultado ¿La herramienta es fácil de usar?	34
Ilustración 27: Gráfico de resultado - El entorno en realidad virtual es inmersivo y realista	34
Ilustración 28: Gráfico de resultado - La retroalimentación es clara e intuitiva	35
Ilustración 29: Gráfico de resultado - El diseño y la navegación de la herramienta es intuitiva	35
Ilustración 30: Gráfico de resultado - El dispositivo es cómodo y ergonómico	35
Ilustración 31 : Gráfico de resultado - La experiencia con las gafas resultó cómoda	36
Ilustración 32: Gráfico de resultado - Tuve mareos, vértigo u otro tipo de malestar al usar las gafas	36
Ilustración 33: Gráfico de resultado - Te sentiste motivado al usar la herramienta	36
Ilustración 34: Gráfico de resultado - ¿Este tipo de sesiones es más interesante que la sesión tradicional?	37
Ilustración 35: Gráfico de resultado - Veo el potencial de esta herramienta para un eventual uso profesional	37
Ilustración 36: Gráfico de resultado - Recomendaría esta herramienta	37
Ilustración 37: Gráfico de resultado - La integración visual ayuda a mejorar la percepción auditiva	38
Ilustración 38: Gráfico de resultado - La herramienta mejoró mi habilidad de percepción espacial del sonido	39
Ilustración 39: Gráfico de resultado - Pude identificar claramente la dirección de los estímulos	39
Ilustración 40: Gráfico de resultado - La adaptabilidad de la herramienta a diversos perfiles de pacientes es evidente	39
Ilustración 41: Gráfico de resultado - Los estímulos sonoros son efectivos para el entrenamiento	40

2 Índice de tablas

Tabla 1: Preguntas Test de Likert ordenadas por área temática	26
Tabla 2: Actividades por grado de dificultad	30
Tabla 3: Costo de mano de obra	43
Tabla 20: Costos totales	43
Tabla 5: Cuestionario entregado a los voluntarios	53
Tabla 6: Total de respuestas según área temática “Funcionalidad de entrenamiento”	57
Tabla 7: Total de respuestas según área temática “Uso y funcionalidad” y “Motivación e Interés”	58

3 Agradecimientos

Aunque cualquier agradecimiento se convierte en minúsculo ante la grandeza de nuestra patria coronada de gloria, no puedo dejar de agradecer a la República Argentina que mediante el prestigio de su educación pública me permitió el lujo de formarme a lo largo de todas las etapas de mi vida. Culminando en la renombrada Universidad Nacional de Córdoba dentro de las Facultades de Ciencias Médicas y Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

El trayecto, al que pone cierre con telón de oro este proyecto integrador es el de mí título de grado. Trayecto que inició mucho antes de comenzar mis estudios en Ingeniería. Trayecto que inició en los albores de mi vida y que me convirtió en Ingeniero mucho antes de que mi persona supiese que era la Ingeniería. Debido a los mencionados anteriormente quiero agradecer a los sucesos y personas que marcaron mi vida, los buenos, los malos, las victorias, las derrotas, los éxitos, los fracasos, las alegrías, las tristezas, los amores y desamores, los héroes y los villanos, los amigos y enemigos, las personas que me apoyaron y las personas que hicieron lo contrario.

Para expresarlo de una manera más Ingenieril, la sumatoria de cada suceso a lo largo de mi vida es igual a mi persona y gracias a ellos hoy soy quién soy. Un Ingeniero Biomédico, pero por sobre todas las cosas: Un hombre hecho, derecho y Argentino.

Dada esta breve introducción, debo mencionar especialmente a mis padres que no solo hicieron todos sus esfuerzos para apoyarme, cuidarme y educarme de la mejor manera posible, sino que entre retrospectiva sus esfuerzos fueron acertados y que tomaron las decisiones correctas formando así a un pequeño gran Ingeniero.

A mis profesores, colegas y futuros colegas de los cuales aprendí, aprendo y aprenderé cantidades inmensurables de conocimiento. Una figura destacada dijo una vez: “la educación es el arma más importante para cambiar al mundo” y estoy absolutamente convencido que tendremos que seguir practicando tiro al blanco.

A mis amigos y compañeros por luchar a mi lado sin ser llamados. Por decirme las verdades que no quiero oír y por siempre sacarme una sonrisa.

A mis asesores Eduardo y Juan Pablo, por el tiempo empleado, el trabajo y dedicación empleados en el proyecto sumado al compromiso de guiarme en el desarrollo de este proyecto.

A mi pueblo “Saturnino María Laspiur” por su siempre constante calidez.

A la escuela de fonoaudiología por su completa predisposición a trabajar en conjunto en pos de incorporar innovación y tecnología para ayudar a sus profesionales y en consecuencia la calidad de vida de la población.

4 Resumen

El entrenamiento de la percepción espacial del sonido es un proceso complejo, en el cual se requieren profesionales altamente capacitados. Los mismos demandan recursos tecnológicos específicos para atender de manera personalizada las necesidades puntuales que surgen frente a cada terapia de rehabilitación. Con el objetivo de favorecer el entrenamiento y la rehabilitación auditiva, se desarrolló una herramienta en el motor de desarrollo Unity para entornos de realidad virtual donde se crearon entornos 3D emulando contextos sonoros y visuoespaciales. Se tomó como pilar del proyecto el concepto de la gamificación.

Para llevar a cabo las pruebas se utilizaron gafas de Realidad Virtual "*Oculus Quest 2*", dentro de un consultorio sonoamortiguado, con audiómetro Interactustic C40, en campo libre y auriculares Sennheiser HDA 300. Las interacciones y respuestas de los usuarios fueron monitoreadas y controladas por terapeutas, quienes seguían las sesiones de forma remota en tiempo real. Los terapeutas que usaron el prototipo reportaron aceptación, se mostraron interesados en la herramienta y destacaron la eficacia y eficiencia. También expresaron interés en la integración de la herramienta a su práctica habitual. Se recibieron sugerencias valiosas para la mejora y adaptación del prototipo, como la inclusión de estímulos sonoros adicionales, implementar niveles para trabajar con la localización vertical del sonido, incorporar niveles donde se trabaje con discriminación del habla y realizar test donde se emule una audiometría sumada a los estímulos visuales, entre otras. A pesar de los resultados prometedores y la aceptación de la herramienta, se identifica la necesidad de una investigación más extensa y pruebas adicionales para maximizar su eficiencia y aplicabilidad en distintos grupos demográficos. La evolución de la herramienta junto a sus aplicaciones se encuentra en un proceso de constante mejora, donde la retroalimentación brindada por los profesionales del área permitió la adaptación de la misma para garantizar mejores resultados. Esto se traduce en la evolución de la herramienta incrementando su efectividad e integración en el campo del entrenamiento y la rehabilitación auditiva.

4.1 Palabras Clave

Rehabilitación auditiva – Percepción espacial del sonido – Realidad virtual – Gamificación

5 Abstract

Training for spatial sound perception is a complex process that requires highly trained professionals. These professionals demand specific technological resources to address the specific needs that arise in each rehabilitation therapy. With the objective of promoting auditory training and rehabilitation, a tool was developed creating an application in the Unity development engine for virtual reality environments, where 3D environments were designed to emulate auditory and visuospatial contexts. The concept of gamification served as a cornerstone of the project.

To carry out the tests, "Oculus Quest 2" Virtual Reality goggles were used within a soundproof office, along with an Interactustic C40 audiometer, in an open-field setting, and headphones. User interactions and responses were monitored and controlled by therapists who followed the sessions remotely in real-time. Therapists who used the prototype reported acceptance, expressed interest in the tool, and highlighted its effectiveness and efficiency. They also expressed interest in integrating the tool into their regular practice. Valuable suggestions were received for improving and adapting the prototype, such as including additional sound stimuli and ensuring consistency between visual and auditory movements in the environment's characters.

Despite the promising results and tool acceptance, there is a need for further extensive research and additional testing to maximize its efficiency and applicability across different demographic groups. The tool's evolution, along with its applications, is in a process of continuous improvement, where feedback provided by professionals in the field allows for its adaptation to ensure better results. This translates into the tool's evolution, increasing its effectiveness and integration in the field of auditory training and rehabilitation.

5.1 Keywords

Hearing rehabilitation – Spatial Sound Perception – Virtual Reality - Gamification.

6 Introducción

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que, para 2050, casi 2.500 millones de personas vivirán con algún grado de pérdida auditiva, de las cuales al menos 700 millones necesitarán servicios de rehabilitación [1]. Según la Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF) , de la Organización Mundial de la Salud existen cinco funciones auditivas: detección de sonido, discriminación de sonido, localización del sonido, lateralización del sonido y discriminación del habla [2]. El entrenamiento de la percepción espacial del sonido y la percepción de distancia auditiva, involucra una gran cantidad de indicios diferentes (tanto acústicos como no acústicos) [3]. Entre ambos engloban las funciones auditivas de: detección, discriminación, localización y lateralización del sonido respectivamente. Para detectar estímulos de diferente naturaleza y reducir la variabilidad de respuesta, el cerebro es capaz de realizar una estrategia llamada interacción multisensorial, en donde se reclutan múltiples sentidos para cuadrar los datos recibidos del exterior.

El entrenamiento y la rehabilitación auditiva son procesos cruciales para mejorar la calidad de vida de las personas con funcionalidad atípica del sistema auditivo. La percepción espacial auditiva es una habilidad tridimensional. La audición es el único telereceptor humano direccional que opera en un rango completo de 360° y es igualmente efectivo en la oscuridad como en la luz brillante. Por lo tanto, el sistema auditivo suele ser un sistema de guía para la visión. La discriminación temporal superior es el principal activo del sentido auditivo, y la capacidad humana para discernir cambios a corto plazo en el sonido que llega hace que la percepción espacial auditiva sea un medio importante para detectar señales de alerta temprana [1]. Sin embargo, las consecuencias pueden variar según el grado de pérdida de la percepción espacial del sonido y las circunstancias individuales de cada persona. La adaptación a esta condición también depende de factores como la edad en la que ocurre la pérdida, la presencia de otras condiciones médicas y el acceso a apoyos y tratamientos. Entre ellas, se puede identificar problemas relacionados a dificultades en la orientación y la movilidad afectando al equilibrio y coordinación, Problemas de Seguridad durante el desempeño en entornos sonoros adversos, comunicación, actividades de la vida diaria involucrando el ámbito laboral, impacto psicosocial y emocionales.

La tecnología de realidad virtual podría ofrecer soluciones prometedoras para el entrenamiento y la rehabilitación de la percepción espacial del sonido. Esta proporciona un entorno controlado y personalizado para el entrenamiento de habilidades auditivas específicas de manera integrada, permitiendo al paciente mejorar su capacidad para detectar, localizar y comprender el sonido en entornos desafiantes. Además, la tecnología de realidad virtual podría proporcionar experiencias tanto educativas como lúdicas para aumentar la motivación del paciente en participar del proceso de rehabilitación. Esta experiencia se describe como un proceso de "gamificación" sobre la terapia de rehabilitación. "La gamificación es el uso de elementos de diseño de juegos en contextos no lúdicos" [4] lo que permite al usuario cambiar su comportamiento y la motivación de los usuarios a través de experiencias que recuerdan a los juegos.

La colaboración interdisciplinaria entre Fonoaudiología e Ingeniería Biomédica es fundamental para la puesta en marcha de soluciones innovadoras en el entrenamiento y rehabilitación auditiva. La fonoaudiología se enfoca en la prevención, evaluación y tratamiento de las alteraciones de la comunicación humana, mientras que la ingeniería biomédica se enfoca en el diseño, desarrollo, implementación y adaptación de tecnologías para mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad [5]. En el ámbito de la rehabilitación, una correcta integración de las disciplinas involucradas es fundamental para desarrollar soluciones innovadoras y efectivas. En muchos equipos multidisciplinarios sucede que cada área ve al paciente sólo desde su perspectiva de su disciplina

(dividiendo al individuo), y no se hace un abordaje integral que tenga en cuenta la interacción de todas sus dimensiones [5].

En este contexto, el siguiente trabajo se enfoca en el diseño y desarrollo de un prototipo de herramienta para entrenamiento y rehabilitación auditiva del sonido espacial basada en realidad virtual.

6.1 Presentación de la problemática/caso o situación. Necesidades detectadas.

La pérdida de audición es un importante problema de salud pública. Los servicios de audiología deben utilizar una serie de servicios de rehabilitación y maximizar la práctica innovadora que ofrece la tecnología para promover activamente la atención personalizada, participativa, preventiva y predictiva si quieren hacer frente a la carga social y económica que supone para la población el rápido aumento de la prevalencia de la pérdida de audición[5]. El desarrollo de intervenciones digitales podría ser una parte clave para proporcionar una gestión de alta calidad, rentable y centrada en el paciente. Actualmente existe evidencia muy limitada que evalúe la perspectiva del paciente con discapacidad auditiva sobre la aceptación y usabilidad de este tipo de tecnología [5]. Sobre esta problemática se comenzó el desarrollo de una herramienta abocada a la integración de estímulos visuales junto a las habilidades auditivas de localización, detección, lateralización y discriminación del sonido debido a que estas son habilidades auditivas básicas en el área de la percepción espacial del sonido. Estas poseen un escala de dificultad ascendente y progresiva lo que hacen adecuada la herramienta a la terapia y por lo tanto fueron las más solicitadas por los Licenciados en Fonoaudiología consultados. En el campo se han observado otras necesidades que podrían ser atendidas en una etapa futura mediante adaptaciones de la herramienta, como actividades que integren a la misma funcionalidades sobre el equilibrio y la discriminación del habla.

6.2 Motivación

La rehabilitación de las funciones auditivas es un proceso complejo donde se necesita una gran cantidad de profesionales altamente capacitados y recursos tecnológicos muy específicos para poder abordar este proceso. Esto último motivó el presente trabajo, la búsqueda de brindar una herramienta adecuada a las terapias de rehabilitación futuras.

7 Objetivos

7.1 Objetivos generales

Favorecer el entrenamiento y la rehabilitación auditiva mediante la integración de los estímulos espaciales sonoros en entornos virtuales.

7.2 Objetivos específicos

- Desarrollar una aplicación lúdica compatible con la tecnología de realidad virtual.
- Aplicar y evaluar los conceptos de gamificación de la terapia de entrenamiento y rehabilitación auditiva.
- Evaluar la integración de los estímulos visuales con los auditivos en el espacio.
- Analizar el grado de aceptación por parte de los profesionales y usuarios del área de la herramienta. En relación a su “Uso y funcionalidad”, “Motivación e intereses” y “Eficacia de entrenamiento”.

8 Marco Teórico

En el siguiente capítulo se abordarán conceptos básicos utilizados a lo largo de todo el trabajo. Una breve descripción de la fisiología de la audición, el procesamiento del sonido a nivel fisiológico y sus terapias de rehabilitación. Luego se dará una breve introducción a la realidad virtual, la plataforma Unity, el desarrollo de entornos en realidad virtual y por último se mencionará el material preexistente sobre la utilización de realidad virtual en fonoaudiología.

8.1 Fisiología de la audición

La audición se activa por la emisión de sonidos, se realiza a través del sistema auditivo e informa al sistema nervioso sobre algunos atributos de las fuentes sonoras. En humanos, el sistema auditivo tiene tres funciones principales:

- 1- Captación y procesamiento mecánico de las ondas sonoras.
- 2- Conversión de la señal acústica (mecánica) en impulsos nerviosos, y transmisión de dichos impulsos hasta los centros sensoriales del cerebro.
- 3- Procesamiento neuronal de la información codificada en forma de impulsos nerviosos. La estructura del sistema auditivo se compone del oído externo, el oído medio, el oído interno y, finalmente, el sistema nervioso central [7].

En la ilustración 1 se puede observar una breve descripción de la estructura anatómica del oído y su división en oído externo, medio e interno.

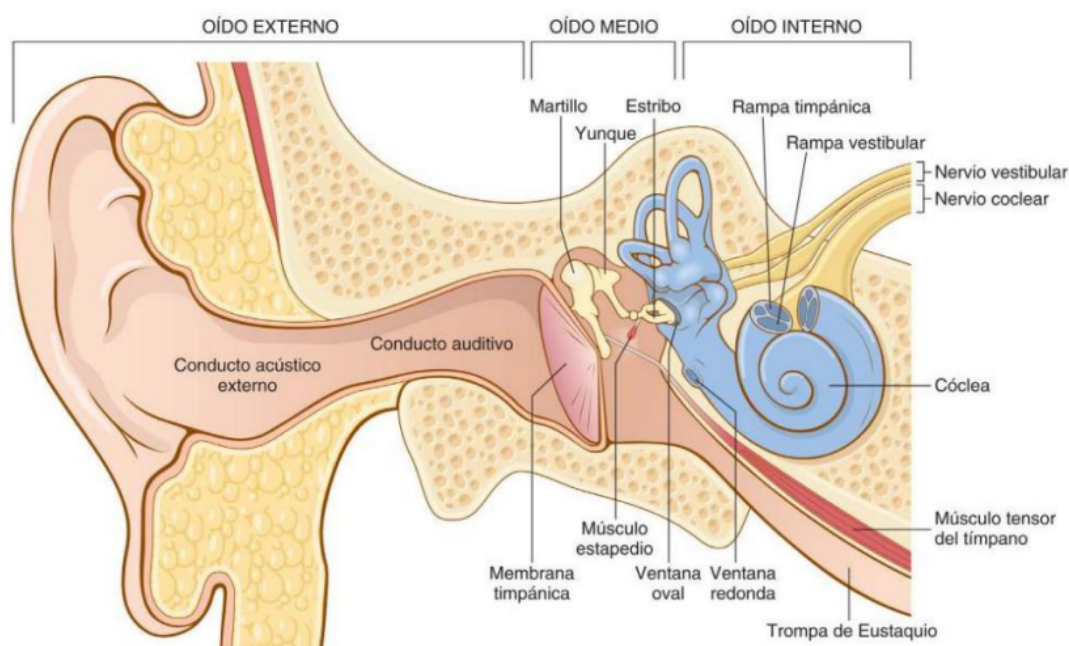


Ilustración 1: Estructura del sistema auditivo [8]

La onda sonora proyecta una energía mecánica sobre el complejo tímpano-osicular, que es transmitida hacia los líquidos laberínticos y desde ahí hasta las células ciliadas internas del órgano de Corti. Estas crean una energía bioeléctrica que, a través de la vía auditiva, va a llegar a los centros de la corteza temporal para allí ser analizada [9].

8.1.1 Detección espacial de la audición

Hay dos procesos principales que nos permiten obtener la percepción espacial del sonido.

El primero es que el pabellón auricular contribuye a la localización de la procedencia del sonido: El hecho de poseer dos orejas separadas por la cabeza (que se comporta como una pantalla acústica) hace que el sonido llegue a ambos oídos con una diferencia temporal y de fase, lo que sirve para localizar el sonido en el plano horizontal [9]. Un ejemplo de esto es que, por ejemplo: “si percibimos un ruido detrás de nosotros y a la izquierda, el oído izquierdo captará la señal sonora unos milisegundos antes que el derecho” [9]. Esto suma importancia a tener 2 receptores sonoros como lo son nuestras orejas, ya que con ellas se obtiene un mayor provecho del mecanismo anteriormente descrito. “La binauralidad mejora la percepción del sonido en alrededor de 8 dB con respecto a las situaciones de audición con un solo oído” [9].

El segundo, la diferencia de intensidad del sonido frente al oído más próximo a la fuente emisora. “Estas diferencias de percepción en tiempo e intensidad de un mismo sonido son analizadas en las áreas auditivas primarias, que compararán las sensaciones recibidas desde ambos oídos extrayendo una conclusión direccional”. [9]

8.1.2 Discriminación de sonidos simultáneos en la audición.

Los mecanismos que permiten la distinción entre sonidos en sucesión cronológica o entre sonidos simultáneos, en sumación, no son todavía plenamente conocidos. En estos fenómenos pueden intervenir: la diferente longitud de las fibras nerviosas (a más longitud se invierte más tiempo en el recorrido, existe mayor latencia), un camino con distinto número de sinapsis (el paso del impulso por cada sinapsis invierte 0.8 milisegundos), y los cruzamientos de las vías a distintos niveles que también contribuyen a aumentar la latencia. Por todos estos mecanismos, dos sonidos percibidos simultáneamente pueden tardar tiempos distintos en recorrer la vía auditiva [9].

8.1.3 Detección de la intensidad del sonido

La discriminación de la intensidad de un sonido se logra por varios mecanismos. Cuanto más fuerte es el sonido, más aumenta la amplitud máxima de la onda viajera, con lo que se excitan más rápidamente las células ciliadas. A una mayor zona de la membrana basilar que ha entrado en vibración, corresponde un mayor número de células ciliadas estimuladas, no solo de las más próximas al centro de la membrana, sino también de la periferia. Además, algunas células ciliadas no se estimulan hasta que la amplitud máxima de la onda alcanza un determinado umbral; es decir, sólo con las ondas producidas por sonidos intensos. A su vez, determinadas neuronas de la corteza auditiva sólo se activan a unas intensidades precisas, lo que hace de estas neuronas captadoras de una “intensidad característica”. En definitiva, a mayor intensidad de sonido: se estimulan más células ciliadas, se activan más fibras nerviosas y en ellas existe un mayor número de descargas de potencial de acción por unidad de tiempo y se estimulan determinadas neuronas de la corteza auditiva; todo ello permite diferenciar los sonidos en sus distintas intensidades [9].

8.2 Realidad virtual

Se denomina realidad virtual al uso de modelado y simulación por computadora que permite a una persona interactuar con un entorno visual artificial tridimensional (3D) u otro entorno sensorial. Las aplicaciones de realidad virtual sumergen al usuario en un entorno generado por computadora que simula la realidad mediante el uso de dispositivos interactivos, que envían y reciben información como gafas, auriculares, guantes o trajes corporales.

En un formato de realidad virtual típico, un usuario lleva unas gafas con una pantalla estereoscópica donde ve imágenes animadas de un entorno simulado. La ilusión de telepresencia se logra mediante sensores de movimiento que captan los movimientos del usuario y ajustan la vista en la pantalla en consecuencia, generalmente en tiempo real (en el instante en que se produce el movimiento del usuario). De este modo, un usuario puede recorrer un conjunto simulado de habitaciones, experimentando puntos de vista y perspectivas cambiantes que están convincentemente relacionados con sus propios giros de cabeza y pasos. Usando controles equipados con dispositivos de retroalimentación de fuerza que brindan la sensación de tacto, el usuario puede incluso recoger y manipular objetos que ve en el entorno virtual [10].

En la ilustración 2 se observan usuarios de gafas de realidad virtual comerciales de la marca Meta Quest 2, con sus respectivos controladores[11].



Ilustración 2: Gafas Meta Quest 2 [11]

8.3 Motor de juego

Un motor de juego es un marco de software diseñado principalmente para el desarrollo de videojuegos. Generalmente incluye bibliotecas relevantes y programas de soporte, como un editor de niveles [12]. Algunos de los motores comerciales más conocidos son: *Unity*, *Unreal Engine*, *Godot*, entre otros.

8.3.1 Unity

Unity es un motor de videojuego multiplataforma creado por *Unity Technologies*. Es una aplicación 3D en tiempo real, además de ser motor 3D y físico utilizado para la creación de juegos en

red, animación en tiempo real y contenido interactivo [13]. Esta compañía ofrece de forma libre el acceso a sus licencias de uso, en diversos encuadres para sus usuarios, entre ellas licencias estudiantiles [14].

8.3.2 Kit de desarrollo de software

Los Software Development Kits (SDK) son paquetes de herramientas que sirven a los desarrolladores para facilitar la creación de aplicaciones en distintas plataformas, lenguajes y sistemas operativos. En estos kits se encuentra la documentación del paquete, el API5, proyectos de ejemplo, librerías, controladores y protocolos. La mayoría de SDK son gratuitos. Los fabricantes de dispositivos suelen ofrecer sus paquetes de código abierto para que los desarrolladores realicen aplicaciones para sus productos.

8.3.3 Desarrollo de entornos en realidad virtual

Para el desarrollo en un entorno de realidad virtual, el desarrollador selecciona el motor y plataforma que más se adecuen a sus necesidades y suma a ello el software auxiliar que sea necesario, entre ellos los SDK. Estos requerimientos varían según el tipo de experiencia que se quiera brindar y del hardware con los que se desee trabajar.

En la ilustración 3 se observa el gráfico del Árbol de tecnologías del Motor unity según la experiencia a brindar.

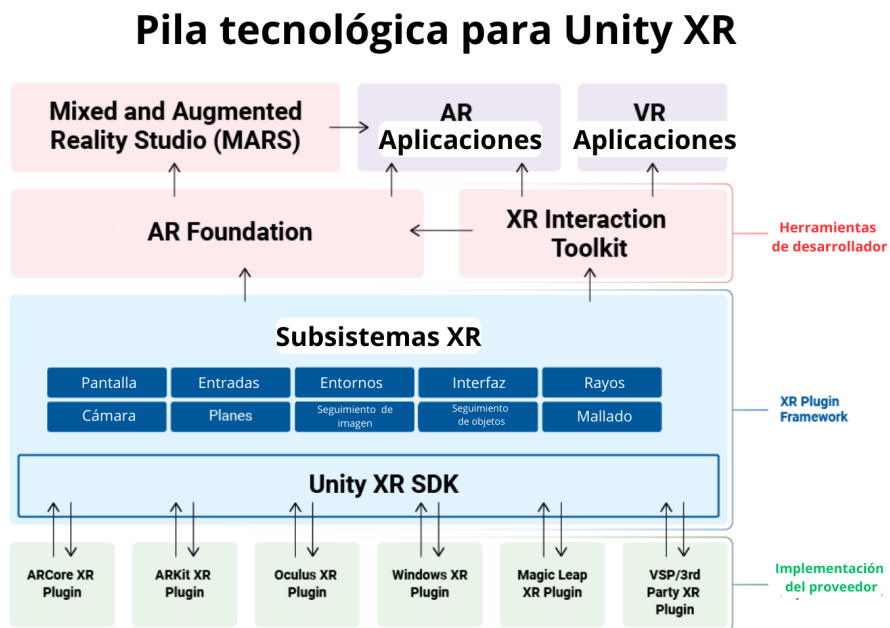


Ilustración 3: Arquitectura de software en realidad virtual en Unity [15]

El desarrollo de realidad virtual (RV) comparte flujos de trabajo comunes y consideraciones de diseño con cualquier desarrollo 3D. En el siguiente diagrama se muestra el flujo de trabajo típico cuando se trabaja con “assets” de Unity. Un “asset” es cualquier elemento que utilices en tu proyecto de Unity. Los “assets” pueden representar elementos visuales o de audio en su proyecto, como

modelos 3D, texturas, partículas, efectos de sonido o música. Los activos también pueden representar elementos más abstractos, como degradados de color, máscaras de animación o texto arbitrario o datos numéricos para cualquier uso [15].

Cada columna de la ilustración 4 representa un paso independiente del flujo de trabajo y se describe a continuación:

- Importar “assets” en el Editor de Unity.
- Crear contenido usando el Editor de Unity con esos recursos.
- Compilar el archivo de la aplicación o el juego y, opcionalmente, los paquetes de contenido que lo acompañan.
- Distribuir los archivos compilados para que los usuarios puedan acceder a ellos, a través de un editor o una tienda de aplicaciones.
- Cargar más actualizaciones según sea necesario en tiempo de ejecución, según el comportamiento del usuario [16].

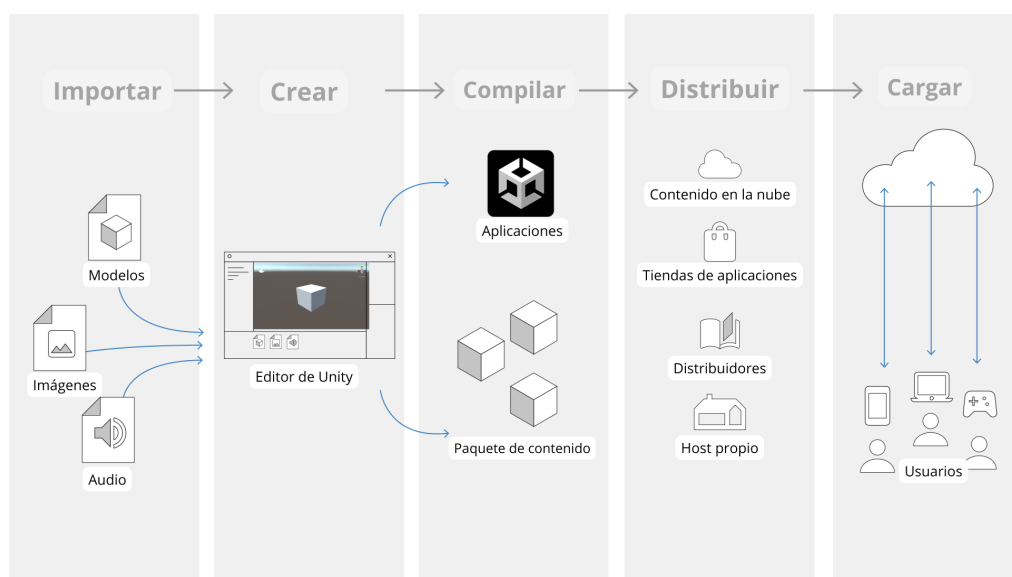


Ilustración 4: Flujo de trabajo en Unity [16]

8.4 Terapias de rehabilitación auditiva

Las terapias de rehabilitación auditiva en esta etapa del estado del arte aún no se encuentran en etapa de introducción de aplicaciones tecnológicas. Dentro de las terapias auditivas más utilizadas en el campo podemos encontrar:

Terapia auditivo verbal (TAV): Lo que se busca con esta terapia es que la persona pueda escucharse a sí misma, a sus interlocutores (mediante el lenguaje hablado) y al ambiente que lo rodea [17].

Método verbo tonal: Este método de intervención se centra en elementos de percepción auditiva y táctil, que aprovecha los restos auditivos del paciente. Por medio de equipos modernos como ser: Sistema Universal Verbal Auditivo de Guberina (SUVAG) en el cual el cuerpo humano funciona como receptor y transmisor, a través de sus elementos como los amplificadores de sonidos con vibradores, micrófonos y audífonos [17].

Lectura labiofacial: Este tipo de terapia es ideal para pacientes postlocutivos, ya que se apoya en el componente visual por medio del movimiento de sus diferentes estructuras: labios, lengua y mandíbula. Por lo tanto, la vista se convierte en los oídos. Sin embargo, no todas las personas realizan los mismos movimientos. Por otro lado, hay muchos fonemas que tienen los mismos rasgos en su punto y modo de articulación, sin olvidar que también existen los denominados "fonemas ocultos" /g/; /x/; /k/, lo que puede generar confusiones. Al profesional que opte por el uso de este método, se recomienda que tenga un excelente entrenamiento para poder hacer uso de este recurso en combinación con otros más [18].

Lengua de signos: Es la lengua natural de las personas sordas. Es una lengua de carácter visual, gestual y espacial con gramática propia que reúne todas las características y cumple las mismas funciones que cualquier otra lengua, que permiten expresar sentimientos, opiniones, transmitir conocimiento e incluso declamar poesía [19]. La lengua de signos facilita el desarrollo lingüístico, cognitivo, social, afectivo-emocional de la persona sorda además de favorecer su participación plena en los distintos ámbitos de la sociedad consiguiendo así su verdadera inclusión social [19].

Comunicación bimodal: La comunicación es bimodal cuando simultáneamente se emplea el habla junto a signos; es decir, la modalidad oral-auditiva junto a la modalidad visual-gestual. El mensaje se expresa en dos modalidades, pero la lengua base, la que marca el orden de la frase y la que determina la sintaxis de las producciones, es la lengua oral. Signos y habla se emplean simultáneamente para facilitar intercambios comunicativos y posibilitar un mejor aprendizaje del lenguaje oral [20].

Musicoterapia: Es una terapia basada en la producción y audición de la música por medio de sus elementos (ritmo, sonido, melodía y armonía), los reportes mencionan en general lo beneficiosa que puede ser esta terapia en salud mental, afectiva y social, mostrando sus múltiples aplicaciones [21].

8.5 Aplicaciones de realidad virtual en la fonoaudiología

“Si bien en el campo de la intervención fonoaudiológica se identifican herramientas tecnológicas que son asumidas como Tecnología de Ayuda o Asistente y que son utilizadas por los profesionales en Fonoaudiología durante los diferentes momentos del proceso terapéutico, no se han desarrollado e implementado sistemas de RV. Las Tecnologías de Ayuda se han ubicado en el espectro de los Sistemas de Comunicación Aumentativa y Alternativa; y se concentran en el uso del computador” [22].

Partiendo de esta premisa, aún es posible encontrar aplicaciones de realidad virtual a nivel académico. Pero con una escasa inserción comercial. En el siguiente inciso se presentan algunas de ellas:

8.5.1 Aplicaciones de realidad virtual en percepción espacial del sonido

8.5.1.1 ReviAPP

ReviAPP aplicación de origen ruso, la cual integra un arreglo de 8 parlantes espaciados, junto a gafas de realidad virtual para trabajar tanto en rehabilitación del sonido espacial como en rehabilitación del habla. Puede observarse el funcionamiento de la misma en la ilustración 5.

Esta aplicación es su estudio de eficiencia “reveló tendencias positivas en el tiempo de respuesta del paciente y la precisión de la determinación del paciente de la dirección de la señal objetivo, independientemente de la simetría y asimetría de la pérdida auditiva, y los pacientes con

pérdida auditiva asimétrica notaron una mejora en la audición espacial, los pacientes con pérdida auditiva simétrica pérdida auditiva mejora la percepción del habla y la calidad auditiva, pacientes con pérdida auditiva latente - mejora la calidad auditiva”[23].



Ilustración 5: Funcionamiento aplicación ReviApp [24]

8.5.1.2 Harvi

Harvi es una aplicación en realidad virtual basada en la logopedia y diseñada para trabajar la discriminación auditiva y la escucha con ruido de fondo interactuando en diferentes entornos y con sonidos específicos de cada uno de ellos. Esta aplicación utiliza imágenes 360° de entornos reales y agrega en ella estímulos sonoros espaciales, la experiencia visual de la aplicación puede observarse en la ilustración 6. El objetivo de sus desarrolladores es: “convertir la logopedia en una experiencia divertida, porque nos permite trabajar y entrenar la escucha en espacios 360° con ruido de fondo, haciendo que el trabajo se convierta en un juego” [25].



Ilustración 6: Funcionamiento aplicación Harvi [25]

9 Alcance del proyecto

En base a las investigaciones realizadas y al trabajo multidisciplinar realizado con los Licenciados en Fonoaudiología, se acotará este proyecto al desarrollo técnico de la herramienta propuesta para cumplir el objetivo y las pruebas de aceptación por parte de los profesionales. La primera etapa implicó el desarrollo de la aplicación, la integración de fuentes espaciales de sonido, la integración del equipo de realidad virtual con equipos de audio, la aplicación de gamificación y la integración auditiva-visual. La segunda consistió en observaciones directas/indirectas del trabajo de los profesionales así como la realización de pruebas y la modificación de la herramienta según la retroalimentación brindada por los mismos.

Debido a que el proyecto se acota a la etapa de prototipo, no se realizará una evaluación ni seguimiento sobre usuarios que se encuentren en una terapia de rehabilitación. Ya que se considera que la etapa de validación y estandarización de la prueba, sumado a la evaluación del progreso de un grupo muestral de pacientes a lo largo del tiempo excede el alcance de un proyecto integrador de grado.

10 Materiales y Métodos

10.1 Diseños

El primer prototipo de diseño se corresponde al diagrama esquemático de la herramienta puede verse en la ilustración 7. Este es un esquema muy simple de funcionalidades el cual fue evolucionando con sus respectivas modificaciones a medida que el desarrollo avanzaba, en base a la retroalimentación brindada por los profesionales consultados.

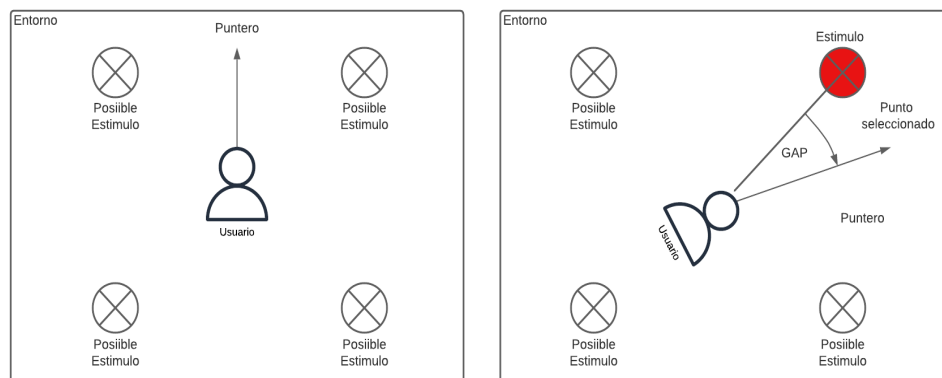


Ilustración 7: Prototipo esquemático de diseño

A continuación en la ilustración 8 se expone el primer diagrama de flujo del software utilizado en la herramienta, el cual muestra la estructura e interacción de la interfaz de usuario(UI) .

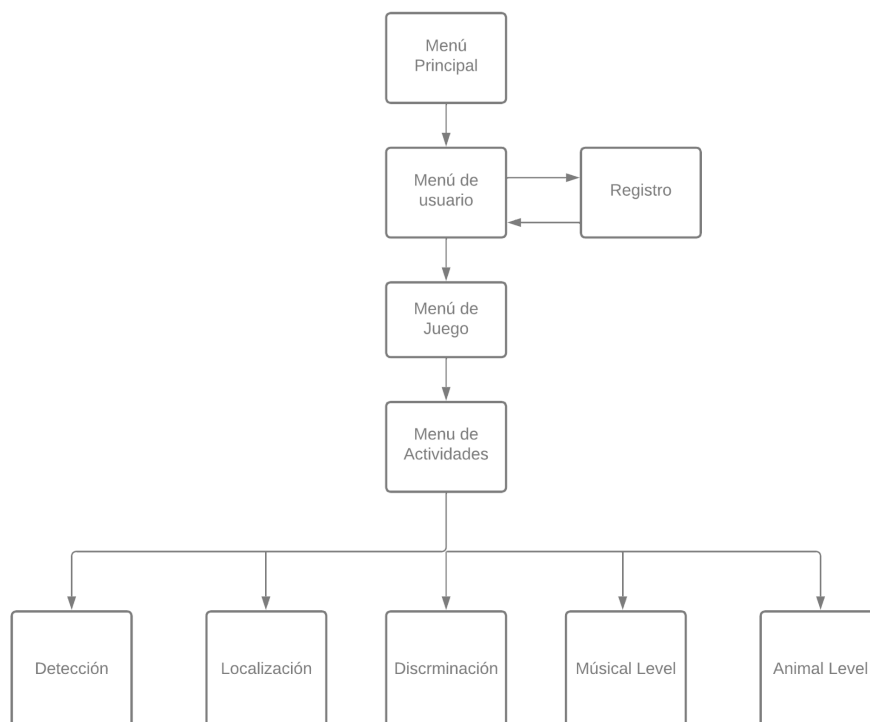


Ilustración 8: Diagrama de flujo de la aplicación

Se diseñó a su vez el diagrama de conexionado expuesto en la ilustración 9 donde se muestra la estructura física de la herramienta. En este se encuentra el usuario utilizando gafas de realidad virtual en la posición central, conectado al audiómetro “Interacoustic C40” [26] y sus 4 parlantes de campo libre. A su vez las gafas están conectadas a una notebook o dispositivo móvil, de manera tal que el terapeuta pueda observar y controlar lo que sucede en el entorno virtual en el cual se encuentra el usuario.

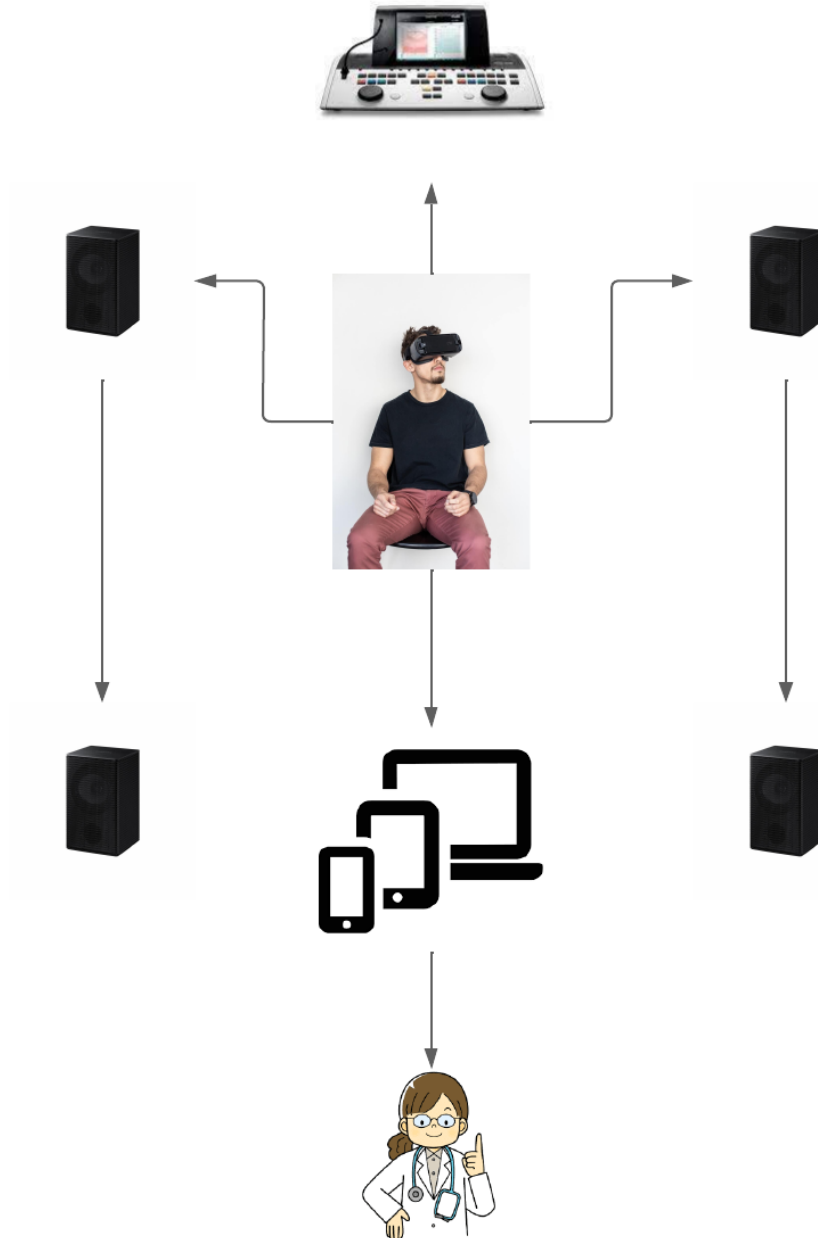


Ilustración 9: Diagrama esquemático de la herramienta desarrollada

10.2 Métodos y técnicas utilizadas

10.2.1 Hardware

El hardware utilizado en la realización de la herramienta desarrollada consistió en el equipamiento tecnológico y cables auxiliares que se enumeran a continuación:

- Gafas de realidad virtual de la marca Meta modelo “*Oculus Quest 2*” (Meta Technologies LLC1, Menlo Park, California, Estados Unidos) [11]. Este equipo fue dado en consignación para el desarrollo del corriente proyecto integrador por parte del proyecto: "Utilización de Biomodelos 3D, Realidad Virtual (RV) y Realidad Aumentada (RA) para el desarrollo de prácticas médicas y quirúrgicas de precisión en la población infantil en el marco de las políticas provinciales que mejoren la calidad de la atención de la salud de los niños", ubicado en el Hospital de Niños de la Santísima Trinidad, Ministerio de Salud de la Provincia de Córdoba, en la unidad de Investigación y Desarrollo (I+D) de Biomodelos.
- Audiómetro de la Marca Interacustic, modelo AC40 (Interacoustics A/S, Middelfart, Dinamarca) [26]. El mismo se encuentra instalado en el consultorio sonoamortiguado del departamento Raquel Maurette de la Escuela de Fonoaudiología de la Universidad Nacional de Córdoba. Este audiómetro está equipado con 4 parlantes de campo libre.
- Audifonos de la Marca Sennheiser modelo HDA 300 (Sennheiser Electronic GmbH & Co. KG, Wedemark, Baja Sajonia, Alemania) [27].
- Notebook de la Marca Asus, modelo TUF GAMING A15 FA506QM. (ASUSTeK Computer Inc, Taipei, Taiwan).
- Se utilizaron otros cables y accesorios como: Cables Jack 3.5 a 3.5 de 5 metros, Cable USB C-USB C de 1.5mts.

10.2.2 Software

Se utilizó el motor de desarrollo Unity (Unity Technologies, Copenhagen, Dinamarca), Junto a los *Software Development Kits*, “*Oculus Native Spatializer*” [28], provisto por Meta Quest el cual adapta las fuentes de sonido para permitir la sensación de espacialidad, el *XR Interaction Toolkit*, *XR Interaction Subsystem*, *XR Plugin Management* y *Oculus XR plugin*.

Cada nivel o actividad se representa mediante un archivo del tipo “*Unity scene file (.unity)*” o “escena”. Cada escena es un “*Asset*” el cual integra los demás “*Assets*” del entorno. Al iniciar cada escena se observa un interfaz como la representada en la ilustración 10.

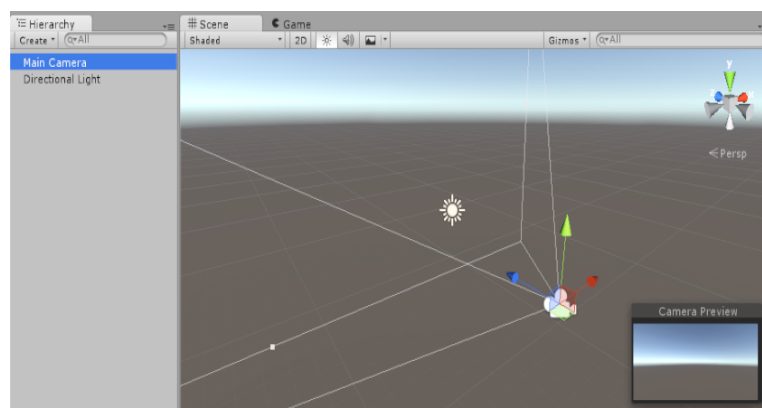


Ilustración 10: Escena predeterminada de unity [29]

En cada escena se integrarán los “*GameObjects*” (los cuales son un tipo de “*Asset*”) que fueron utilizados sobre ella. Los “*GameObjects*” son objetos fundamentales en Unity que representan personajes, accesorios y escenarios. No logran mucho por sí mismos pero actúan como contenedores para los componentes que implementan la funcionalidad [30].

Dentro de los componentes que contiene cada “*GameObjects*”, se encuentran los scripts, los cuales son los encargados de darle la funcionalidad al mismo. Cada script regula el funcionamiento de su propio “*GameObjects*” y puede interactuar con otros. Estos *script* se programaron en el lenguaje de programación C#. Se puede observar en la ilustración 11 un ejemplo de la sintaxis del script

```

1 using System.Collections;
2 using System.Collections.Generic;
3 using UnityEngine;
4
5 public class NewBehaviourScript : MonoBehaviour
6 {
7     // Start is called before the first frame update
8     void Start()
9     {
10         ;
11     }
12
13     // Update is called once per frame
14     void Update()
15     {
16         ;
17     }
18 }

```

Ilustración 11: Script predeterminado de unity

Gran parte de los “*assets*” mencionados anteriormente y utilizados en este proyecto fueron obtenidos desde la *Unity Asset Store* [31]. La cual contiene una biblioteca de “*assets*” gratuitos y comerciales que *Unity Technologies* y los miembros de la comunidad crean. Hay disponible una amplia variedad de recursos, incluidas texturas, modelos, animaciones, ejemplos de proyectos completos, tutoriales y extensiones del editor [32]. En la ilustración 12 se observan distintos tipos de *assets* importados al proyecto de unity.

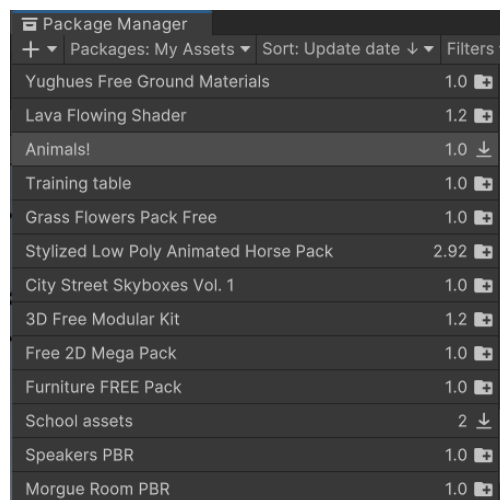


Ilustración 12: Algunos “*Assets*” importados en el proyecto

Cabe mencionar que cada escena cuenta con al menos tres scripts propios en los *GameObjects* que la integran. Un script denominado “GameManager” el cual controla la creación, activación y desactivación de los estímulos sonoros. Junto a un “Ui Menu Manager” el cual se encarga de la interfaz de Usuario además de un “Menú” para la interfaz de cada nivel. En caso de los niveles con mayor cantidad de “*GameObjects*” y complejidad estos sumarán funcionalidades propias y para ello cuentan con la cantidad necesaria de scripts para llevarlas a cabo.

10.2.3 Integración

La integración del software con el hardware se realizó mediante el montaje descrito esquemáticamente en la ilustración 13. Se conectaron las gafas de realidad virtual Oculus Rift 2 por medio el puerto hembra Jack 3.5, mediante un conector macho-macho al audiómetro AC40, mientras que por medio de una cable USB C macho-macho las gafas se conectaron a la computadora, de manera tal que permitió el monitoreo por parte del terapeuta. Mediante la función de “transmitir” se pudo realizar el monitoreo del programa, mediante una funcionalidad propia de las gafas de la marca *oculus* y puede realizarse desde la página web: <https://www.oculus.com/casting> así como desde la aplicación móvil de *Meta Quest* para celulares equipados con sistema operativo *Android* o *iOS*.

La salida de audio por parte del audiómetro AC40 fue ensayada en dos modos de prueba. El primero, mediante la salida por sus parlantes de campo libre en formato estéreo. El segundo, utilizando la salida mediante audífonos *Sennheiser* HDA 300 de alta frecuencia.



Ilustración 13: Esquema de diseño

En la ilustración 14 se observa la herramienta durante una prueba de campo. En ella se encuentra el usuario, con las gafas colocadas en su cabeza, estando las mismas conectadas mediante un cable jack de 3,5mm al audiómetro junto a una Notebook la cual transmite la experiencia del usuario

permitiendo que esta pueda ser observada y controlada en tiempo real. Todo esto sucede dentro de una sala sonoamortiguada la cual proporciona un ambiente aislado con condiciones acústicas óptimas.



Ilustración 14: Prueba en sala sonoamortiguada

10.2.4 Metodología de prueba

Se expresa en este apartado la herramienta metodológica que se utilizó para la prueba de evaluación de la factibilidad del Prototipo de herramienta para la rehabilitación auditiva de la percepción espacial del sonido basada en realidad virtual expuesto a lo largo del proyecto integrador.

Para la prueba de la herramienta se trabajó con un grupo de voluntarios los cuales cumplimentaron los siguientes requerimientos: Ser adultos mayores de edad entre los 18 y 65 años, de ambos sexos, habitantes de la Ciudad de Córdoba - Argentina, sin ninguna afección o patología auditiva reconocida al momento de realizar el test.

A su vez la muestra fue dividida en dos grupos de interés de acuerdo a la formación de los voluntarios:

- La muestra N°1 compuesta por licenciados y estudiantes avanzados en Fonoaudiología compuesta por N=3 . (2 mujeres - 1 hombre)
- La muestra N°2 compuesta por usuarios con audición dentro de parámetros normales tuvo un N=10. (8 mujeres - 2 hombres)

Los voluntarios, antes de realizar la prueba, completaron un “acuerdo de consentimiento informado y confidencialidad”, el cual se encuentra en el Anexo I. Luego de que los voluntarios leyeron y aceptaron su deseo de participar en la muestra a través del “acuerdo de consentimiento informado y confidencialidad”, se procedió a realizar la evaluación en el campo de prueba.

Los resultados se obtuvieron mediante un cuestionario realizado sobre la escala Likert: un instrumento psicométrico donde el encuestado debe indicar su acuerdo o desacuerdo sobre una

afirmación, ítem o reactivo, lo que se realiza a través de una escala ordenada y unidimensional [33]. La misma estaba compuesta por una escala de cinco alternativas junto con una opción de “No tengo opinión”, “No opino” o “Sin opinión”. La cual es la forma más recomendable para este tipo de escalas según [34].

Los voluntarios testearon la herramienta para luego plasmar sus experiencia completando el cuestionario presentado. El mismo se encuentra disponible en el Anexo II - Test de Likert. El mismo constó de 16 preguntas las cuales están agrupadas en la Tabla 1.

Los datos obtenidos mediante este cuestionario se encuentran en la sección de resultados.

El objeto de estudio se divide entre los dos grupos muestrales. El primero, compuesto por profesionales abocados al área de la fonoaudiología, los cuales completaron las preguntas de las tres áreas temáticas del cuestionario. El segundo grupo muestral se compuesto por voluntarios normoacusticos, abarca las áreas temáticas de “Uso y funcionalidad” y “Motivación e intereses”.

Se considerarán como respuestas positivas las opciones “De acuerdo” y “Totalmente de acuerdo” en 15 de las 16 preguntas del cuestionario. La excepción será la sentencia “Tuve mareos, vértigo u otro tipo de malestar al usar las gafas” donde se considera que respuesta positiva sean las opciones “En desacuerdo” y “Totalmente en desacuerdo”.

Las preguntas del cuestionario se encuentran segmentadas en la Tabla 1, en tres áreas temáticas de interés: “Uso y funcionalidad”, “Motivación e intereses” y “Eficacia de entrenamiento”.

Tabla 1: Preguntas Test de Likert ordenadas por área temática

Uso y funcionalidad	Motivación e interés	Eficacia de entrenamiento
¿La herramienta es fácil de usar?	¿Te sentiste motivado al usar la herramienta?	La integración visual ayuda a mejorar la percepción auditiva
El entorno en realidad virtual es inmersivo y realista	¿Este tipo de sesiones es más interesante que la sesión tradicional?	La herramienta mejoró mi habilidad de percepción espacial del sonido
La retroalimentación es clara e intuitiva	Recomendaría esta herramienta	Pude identificar claramente la dirección de los estímulos
El diseño y la navegación de la herramienta es intuitiva	Veo el potencial de esta herramienta para un eventual uso profesional	Los estímulos sonoros son efectivos para el entrenamiento
El dispositivo es confortable y ergonómico		La adaptabilidad de la herramienta a diversos perfiles de pacientes es evidente
La experiencia con las gafas resultó cómoda		
Tuve mareos, vértigo u otro tipo de malestar al usar las gafas		

11 Implementación

11.1 Fabricación y realización

En los albores del proyecto, se discutió y analizó que software debía ser utilizado en el desarrollo de la herramienta, para ello se realizaron pruebas piloto tanto con el con el motor de desarrollo Godot [35], teniendo este la particularidad de que el mismo es de uso libre y gratuito además de su origen Argentino. Aunque finalmente, se optó por el uso del motor Unity, el cual fue introducido en el marco teórico debido a su compatibilidad con distintos Software Development Kit (SDK) y aplicaciones de terceros vitales para el desarrollo. En las ilustraciones 15 y 16 pueden observarse las interfaces de ambos motores, donde quedan a la vista la similitudes entre ambos.

Dentro de los Software Development Kit necesarios para el proyecto se encuentran: Oculus Native Spatializer [28] provisto por Meta Quest, que permite transformar fuentes de sonido para que emitan sonido según su posición espacial en las direcciones deseadas. XR Interaction Toolkit [36], que otorga un conjunto de herramientas para facilitar la interacción entre el software y el hardware en las gafas de realidad virtual. A esto se suma la utilización del XR Interaction Subsystem, XR Plugin Management y el Oculus XR plugin.

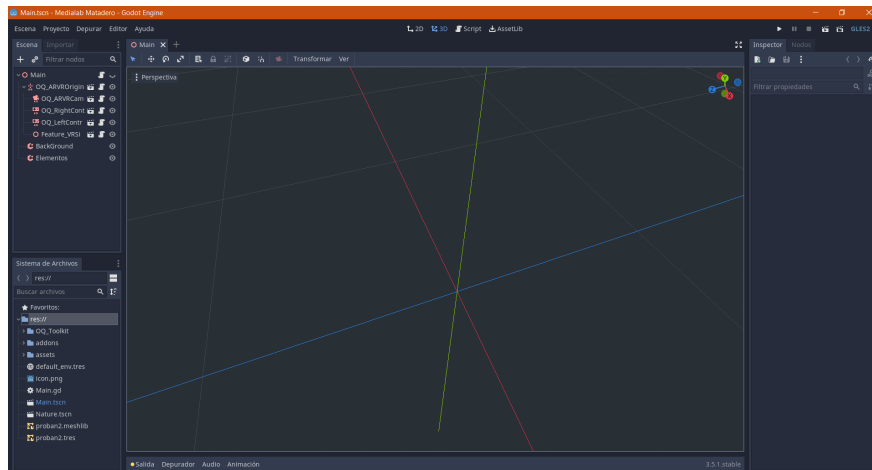


Ilustración 15: Motor de desarrollo Godot

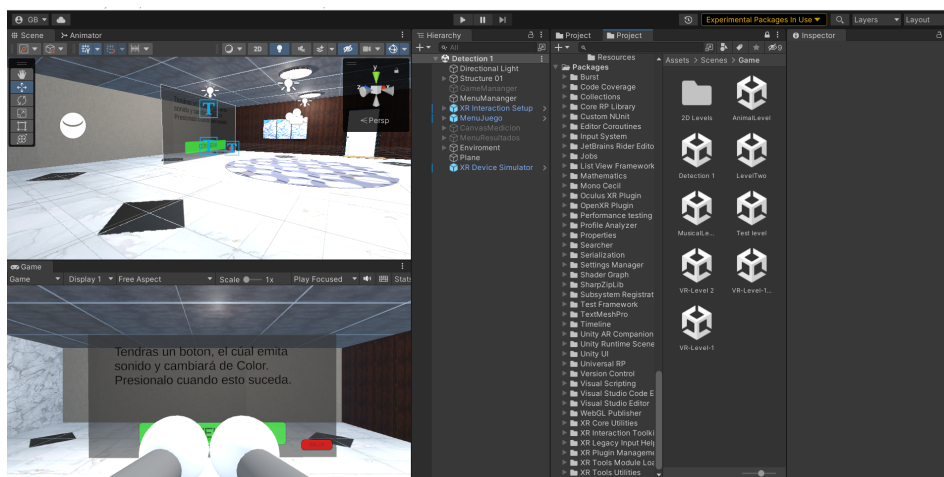


Ilustración 16: Motor de desarrollo Unity

Se llevaron a cabo distintas pruebas en el software con el objetivo de obtener la correcta espacialización de las fuentes sonoras mediante los componentes de audio pertenecientes al SDK de Oculus. En estas pruebas se comprobó el correcto funcionamiento dichas fuentes de un entorno 3D, en el que se emitía el sonido desde un punto en el espacio (en el primer modelo, representado por un “parlante”). Mediante el uso de auriculares el usuario podía determinar la ubicación espacial del sonido. Al navegar en el escenario, se percibía como la percepción del sonido variaba según la posición del usuario.

El primer prototipo de aplicación fue montado sobre el formato WebGL. Siendo este formato utilizado debido a que permite la renderización de gráficos en 3D dentro de cualquier navegador web, lo que conlleva a que la aplicación sea accesible desde el navegador de una PC. La escena visual puede observarse en la ilustración 17.

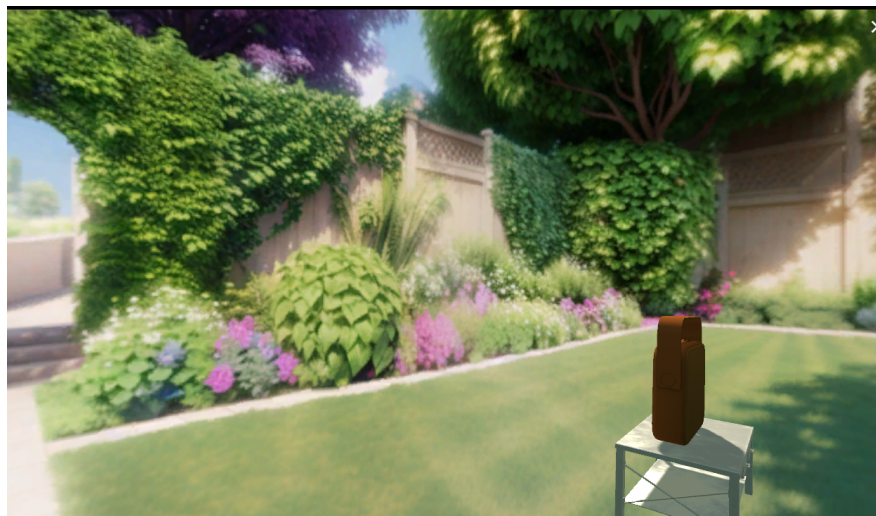


Ilustración 17: Primer prototipo en Unity

Una vez comprobada la factibilidad del sistema, como se observa en la ilustración 18, se agregó un sistema de interfaz de usuario (IU), el traspaso entre escenas y el flujo entre las mismas.

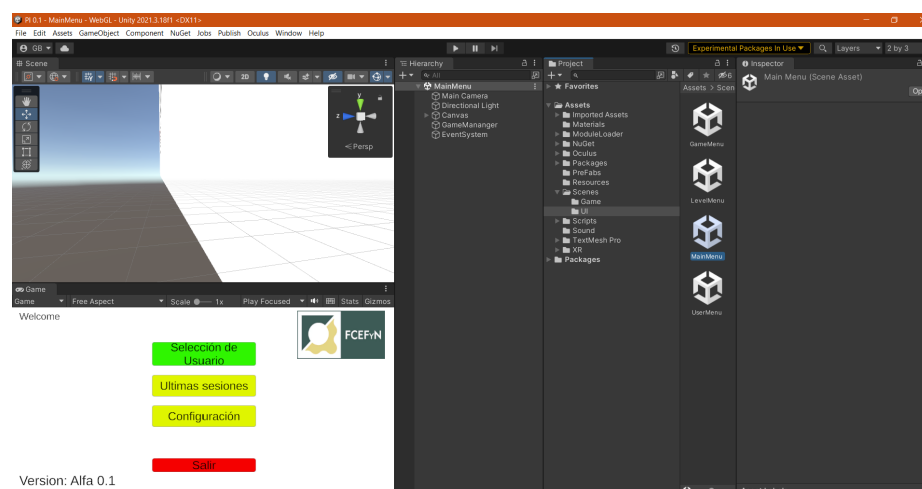


Ilustración 18: Desarrollo de la Primer IU

Frente al éxito del primer prototipo se comenzó a implementar la gamificación en la herramienta. En este paso se introdujeron las primeras interacciones del usuario con la herramienta las cuales brindaron jugabilidad.

En esta etapa el sonido ya no proviene de una única fuente individual estática, sino que este se emite desde cuatro posibles fuentes la cuales se encuentran distribuidas en el espacio a 90° grados entre sí, todas representadas por la figura 3D de una persona la cual se encuentra riendo. El desafío para el usuario consiste en determinar y seleccionar la dirección desde la cual proviene el sonido (es decir, identificar cuál de las personas está riendo) y posteriormente seleccionar la respuesta que crea adecuada. A partir de estas interacciones, se recopila la primera métrica que brinda el software, la angulación en grados azimut de su selección. En la ilustración 19 se observa el funcionamiento del primer prototipo jugable.



Ilustración 19: Primer prototipo jugable

El primer prototipo puede ser testeado en el siguiente enlace aquí: <https://play.unity.com/mg/other/webgl/build-720>. Cabe destacar que para su funcionamiento es necesario un navegador web de computadora la cual tenga conexión a audífonos.

En este momento se consideró que el desarrollo era viable, considerándose así concluida la primera etapa de desarrollo, donde pudimos analizar la factibilidad de la espacialización del sonido. Se establecieron dos líneas principales de desarrollo.

La primera línea consistió en adaptar el software preexistente que había sido desarrollado durante la primera parte del proyecto a un entorno de realidad virtual. Esto implicó la completa modificación y reconstrucción de las escenas, la interfaz de usuario, la integración con el hardware y las interacciones con el usuario, utilizando en esta etapa el SDK de XR Integration Toolkit.

La segunda línea se centró en el desarrollo desde las áreas teórico-observacionales. Se revisó bibliografía, además de observaciones y consultas a los licenciados en Fonoaudiología sobre situaciones y actividades que podían ser de interés para desarrollar en realidad virtual. Se buscó a su vez el sustento teórico para el desarrollo de las actividades se intentó replicar de forma visual e inmersiva las preguntas de la versión en español del Inventario de Amsterdam para Discapacidades y Minusvalías Auditivas (S-AIADH) [37]. Se hizo hincapié en las siguientes: *¿Escucha usted a los pájaros cantar afuera?*, *¿Puede usted reconocer las melodías en la música o canciones?*, *¿Escucha usted desde qué dirección viene la bocina de un auto?*, *¿Puede usted reconocer y distinguir diferentes instrumentos musicales?*

A partir de lo investigado y, con la retroalimentación de los fonoaudiólogos, se diseñaron actividades que fueron clasificadas según las habilidades auditivas a desarrollar y su grado de dificultad e integración. Se generó un sistema de escenas de dificultad y estímulos progresivos, llamados niveles. Estos permiten al usuario generar una curva de aprendizaje a medida que interactúa con la herramienta. A medida que explora los entornos y las actividades se aumenta paulatinamente el grado de estimulación y dificultad al cual es sometido. Cuanto mayor sea el grado de dificultad e integración, mayor cantidad de habilidades auditivas se encontrarán involucradas. Esta correlación se especifica en la tabla 2.

Tabla 2: Actividades por grado de dificultad

Prueba	Grado de dificultad	Habilidades auditivas implicadas	Variaciones
Un botón central se encuentra frente al usuario, este debe presionar este, cuando el mismo emita un sonido	1	Detección:	A) Con ayuda visual B) Sin ayuda visual
El botón correcto ahora se encuentra distribuido entre 360° alrededor del usuario.	2	Lateralización + Localización + Detección	A) Localización con ayuda visual B) Localización sin ayuda C) Localización entre múltiples fuentes y su origen con ayuda visual D) Localización entre múltiples fuentes y su origen sin ayuda visual
Hay más dos posibles estímulos sonoros en más de una posible fuente. Y estos ya no son sonidos	3	Discriminación + Detección + Lateralización + Localización	A) Seleccionar entre 2 sonidos no puros y su origen con ayuda visual.
Niveles donde se enfrenta al usuario a situaciones con sonidos de difícil discriminación y muchos estímulos visuales	4	Integración total	A) Nivel Musical. (Diversos instrumentos con sus respectivos sonidos caen y rodean al usuario) B) Nivel Animal: El usuario se encuentra en un padro frente a sonidos varios de animales y con múltiples estímulos como el movimiento de lo mismos, así como del entorno.

Una vez obtenido el flujo de trabajo, se reinició el desarrollo para ahora ser montado en un escenario de realidad virtual 3D, utilizando Assets para generar entornos y usando la combinación de los *inputs* obtenidos por los mandos para dar jugabilidad y retroalimentación al sistema. La retroalimentación entre el hardware, el software y la experiencia del usuario se exhiba en la ilustración 20.

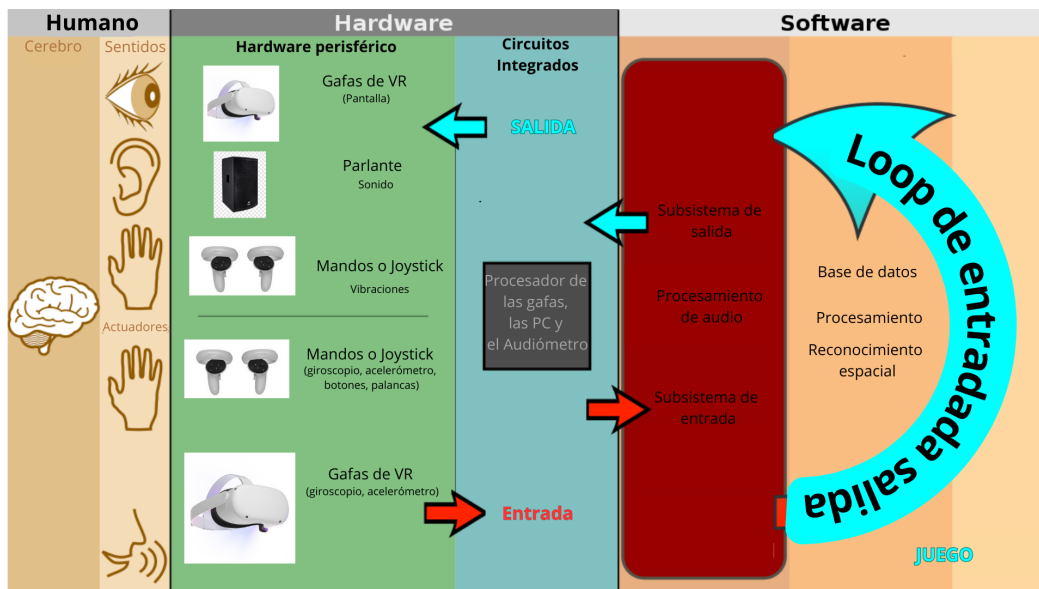


Ilustración 20: Diagrama de retroalimentación de la herramienta

11.1.1 Desarrollo de niveles en realidad virtual

La aplicación desarrollada consta con una estructura de software en la cual el usuario se encuentra frente a una interfaz usuario y desde allí se seleccionan “niveles” expuestos en la tabla 2, los cuales son entornos con su respectiva interfaz gráfica, funcionalidades y jugabilidad asociada. Para el desarrollo de los niveles se generaron diversas escenas. Cada una de las escenas cuenta con una impronta propia dependiendo del objetivo del nivel. Para los niveles donde el objetivo es trabajar con la habilidad auditiva de detección se utilizó una sala cerrada, con fuentes de luz internas, algunos muebles y cuadros además de texturas variadas en las paredes de la misma. Con esto el usuario obtiene referencias visuales claras para no perderse en el espacio. Se establece que a medida que la dificultad de detección aumenta, las referencias visuales se vuelven directamente más explícitas.

En la ilustración 21, a continuación, se puede observar el “rayo” o “raycaster” emitido de color celeste por el mando del *Oculus Rift*. Este rayo actúa como el selector por parte del usuario siguiendo el movimiento de sus controladores. Cuando se encuentra en dirección a los botones, estos están configurados para cambiar su color a celeste además de vibrar dando una retroalimentación visual y háptica de “hacia donde” está apuntando el usuario. Si el usuario presiona el botón (utilizando el botón gatillo del mando) y su selección es correcta, la retroalimentación visual será verde. En caso de que la selección fuese incorrecta (debido a que no es la fuente de sonido o no lo hizo en el tiempo adecuado) la selección en cambio será roja. En ambos casos, obtendremos en paralelo la retroalimentación háptica del mando mediante vibraciones, indicando el proceso de selección.

En el nivel de dificultad 1, solo se trabaja la detección del sonido, con un botón frente al usuario. El mismo cambia de color (de blanco a amarillo) y emite un sonido tonal puro de 500Hz luego de un periodo de espera aleatorio (de entre 1 y 5 segundos generado con una función aleatoria). El usuario debe presionar el botón luego de percibir el estímulo visual-auditivo. Al iniciar este estímulo, el programa activa un contador de forma que se cuantifica el tiempo que el usuario demora en realizar la selección.

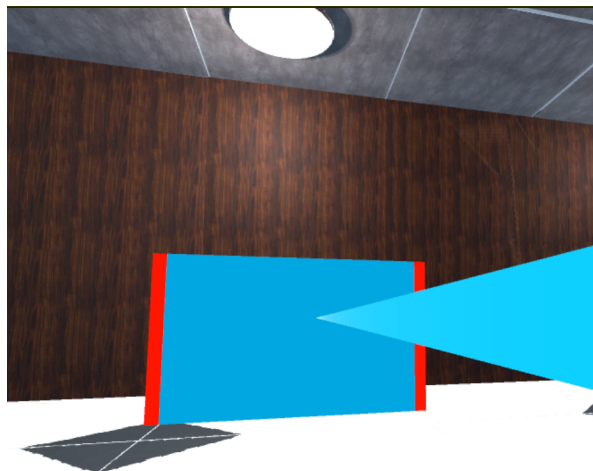


Ilustración 21: Dificultad 1 - Detección del sonido

Tras completarse la selección en cada uno de los niveles se podrá tanto reiniciar la actividad, como salir de la misma desde un menú que se activa en el escenario. En la ilustración 22 puede observarse la vista que tendría el usuario mientras interactúa en un nivel de dificultad 2.



Ilustración 22: Dificultad 2 - Detección + localización

En el grado de dificultad 2, se agrega la espacialización de los botones de selección, los cuales son distribuidos en un arreglo de 360°, con 12 botones en total, con 30° de distancia angular entre sí.

El usuario aquí debe con o sin ayuda visual, detectar la fuente de sonido. La ayuda visual es idéntica a la descrita en la dificultad 1, donde el botón cuya fuente de audio es activa, cambia su color a un amarillo fuerte, puede observarse en la ilustración 23. En este nivel se agrega una ayuda visual en los botones inmediatamente laterales al mismo que se ven de un amarillo claro, siendo más fácil detectar un grupo que ocupa el 25% de los botones (3 sobre 12) que sí la ayuda visual solo fuese puntual.

Se mantiene la lógica de que cada botón señalado por el “rayo” del usuario se vea celeste, los presionados correctamente verdes y los incorrectos de color rojo.

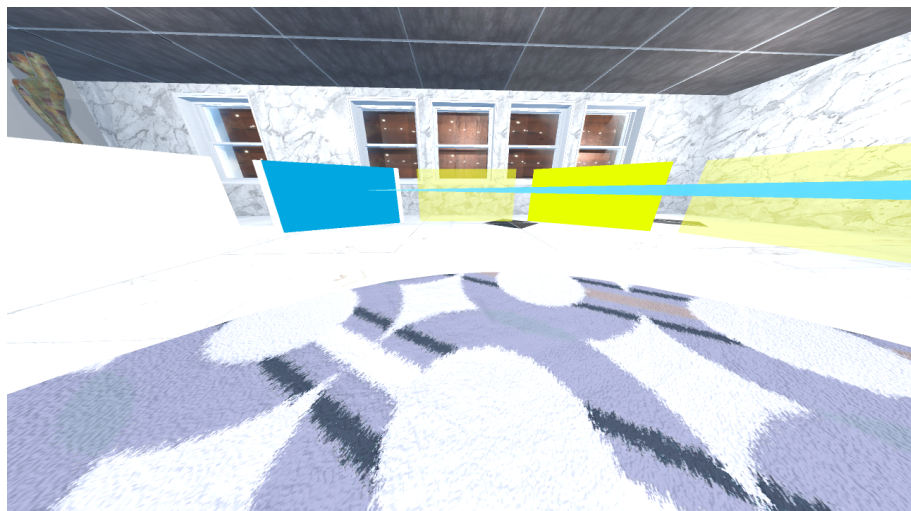


Ilustración 23: Dificultad 2 - Detección + localización con ayuda visual

En el grado de dificultad 3 se utiliza el mismo escenario que en el grado de dificultad anterior, pero en este caso en vez de utilizar una única fuente aleatoria de sonido, se utilizan dos. De esta

manera ambas fuentes emitirán sonido en simultáneo donde el usuario deberá percibir ambos sonidos y discriminar entre ambas fuentes.

Dentro de los niveles también encontraremos el "Nivel musical" el cual es un nivel creado con el objetivo de integrar las habilidades auditivas de detección, localización, lateralización y discriminación. Debido a ello fue encuadrado como un nivel de dificultad 4, tal como fue indicado en tabla 2.

En este nivel el usuario se encontrará dentro del interior de una sala vacía a cielo abierto, con pocos estímulos visuales externos que puedan dispersar su atención, donde el principal atractivo son los objetos musicales que caen del cielo rodeando al usuario en posiciones aleatorias, como se observa en la ilustración 24. Entre ellos: Piano, tubo, trompeta y violín. Uno de ellos de forma aleatoria será la fuente sonora, emitiendo el sonido característico de dicho instrumento. Este será el único habilitado para ser "tomado" por el usuario, con el gatillo del controlador. Cuando el usuario seleccione el mismo, se considerará como éxito.

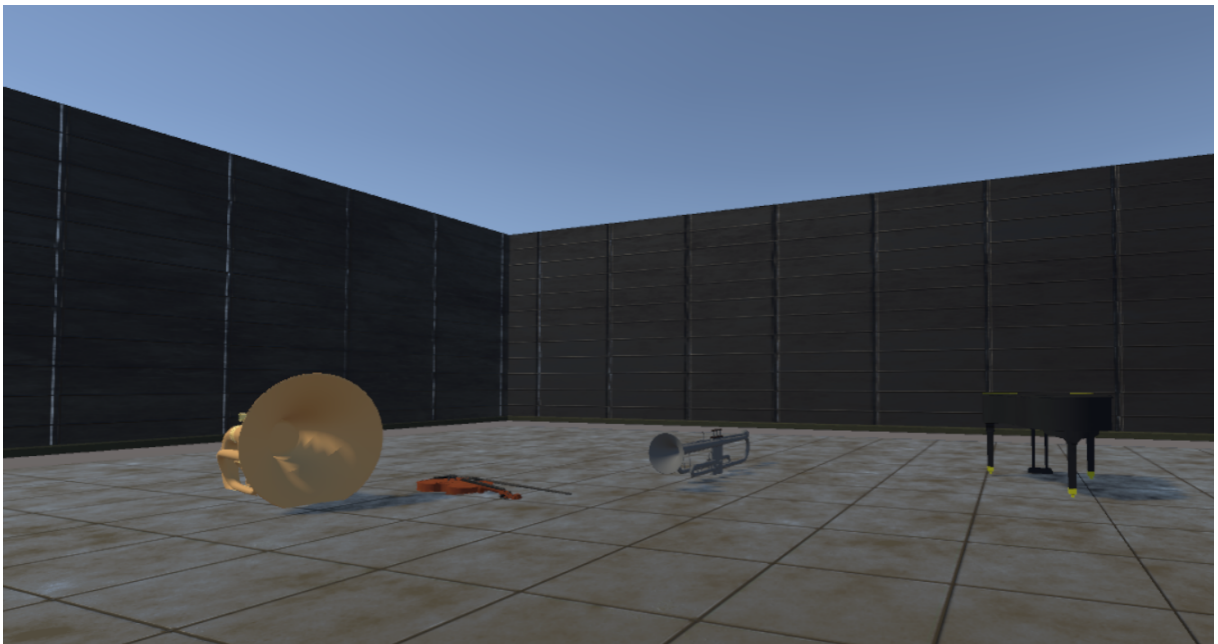


Ilustración 24: Dificultad 4 - Integración total – Nivel Musical

El nivel más avanzado de la herramienta, tanto en jugabilidad como en gráficos, es el "Nivel Animal". Este nivel nos transporta a un prado con notables características orográficas, vegetación y pastizales interactivos como puede observarse en la ilustración 25. En este entorno, el usuario se encuentra rodeado por diversos animales, como caballos y cabras, que se encuentran realizando un pequeño recorrido en un bucle por el prado.

En este nivel, el usuario enfrenta el desafío de detectar un sonido, lateralizarlo, localizar y discriminar entre las posibles fuentes de sonido. Posteriormente, debe seleccionar el animal que considere correcto utilizando el gatillo del controlador, de manera análoga a lo que ocurre en el nivel musical.



Ilustración 25: Dificultad 4 - Integración total – Nivel Animal

11.2 Pruebas / validaciones

Mediante la metodología expuesta en el capítulo de materiales y métodos, se llevó a cabo la siguiente prueba.

Antes de comenzar la prueba se comunicó a los voluntarios los detalles de la misma y se les solicitó que manifestaran su total conformidad con el uso de sus datos solicitados en el “Acuerdo de consentimiento informado y confidencialidad” que se encuentra en el Anexo I.

A posteriori se llevó a cada voluntario de manera individual a una antesala donde se les comunicó de forma breve qué esperar de la herramienta, cómo colocarse las gafas, qué hacer en caso de mareo, como funcionan los controles las gafas, entre otros datos de interés.

Una vez evacuadas todas las dudas y consultas sobre la metodología de la prueba y posibles efectos adversos por parte de los voluntarios, los mismos ingresaron a la sala sonooamortiguada donde comenzaron las pruebas. La prueba consistió en una demostración del equipo de 30 minutos para la muestra N°1 y de 15 minutos para la muestra N°2. En ambas los voluntarios avanzaron en los niveles del juego por sus propios medios mientras eran observados y guiados por el equipo evaluador, que estaba disponible a posibles preguntas e inquietudes.

Los niveles evaluados fueron “Detección 1”- “Nivel Animal” - “Nivel Musical”. Así como la navegación por parte de los voluntarios en la interfaz de usuario.

Las áreas temáticas del test de Likert referidas a “Uso y funcionalidad” y “Motivación e Intereses” serán analizadas de forma conjunta sin discriminar entre los grupos muestrales, ya que se considera que son preguntas transversales a ambos grupos. En el anexo III podemos encontrar las tablas con la sumatoria total de respuestas por área.

12 Resultados

En base a los datos obtenidos en la sección “Pruebas / validaciones” se determinan los siguientes resultados, los cuales se exponen a continuación agrupados por áreas temáticas. Cada una de las sentencias obtenidas en el test a su vez tendrá su propio gráfico de barras.

12.1 Resultados por área temática

A continuación se encuentran los resultados obtenidos en el Test de Likert expresados en forma de gráficos divididos en las áreas temáticas de “Uso y funcionalidad”, “Motivación e Interés” y “Eficacia de entrenamiento”

12.1.1 Uso y funcionalidad

Ilustración 26: Gráfico de resultado ¿La herramienta es fácil de usar?

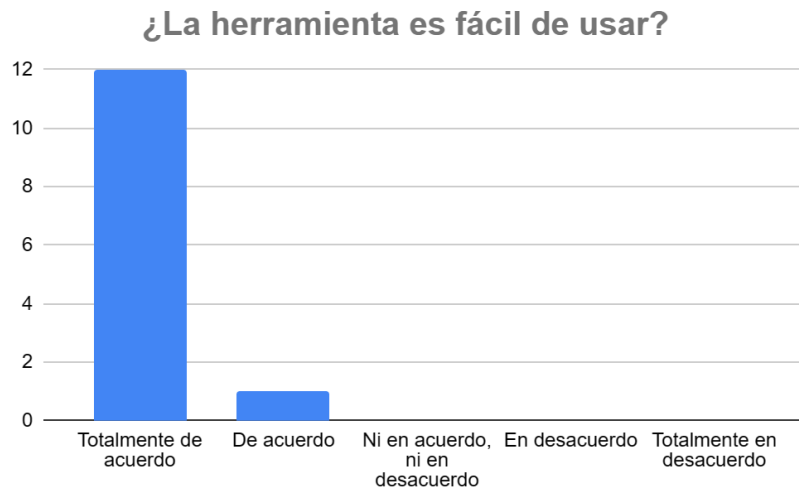


Ilustración 27: Gráfico de resultado - El entorno en realidad virtual es inmersivo y realista

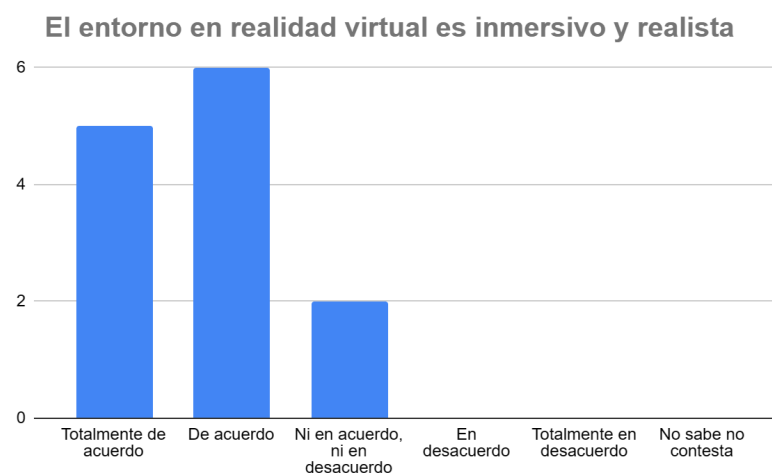


Ilustración 28: Gráfico de resultado - La retroalimentación es clara e intuitiva



Ilustración 29: Gráfico de resultado - El diseño y la navegación de la herramienta es intuitiva

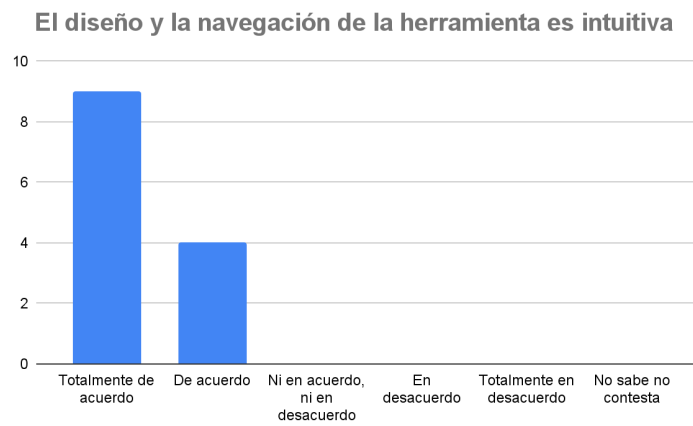


Ilustración 30: Gráfico de resultado - El dispositivo es confortable y ergonómico



Ilustración 31 : Gráfico de resultado - La experiencia con las gafas resultó cómoda



Ilustración 32: Gráfico de resultado - Tuve mareos, vértigo u otro tipo de malestar al usar las gafas



12.1.2 Motivación e Intereses

Ilustración 33: Gráfico de resultado - Te sentiste motivado al usar la herramienta

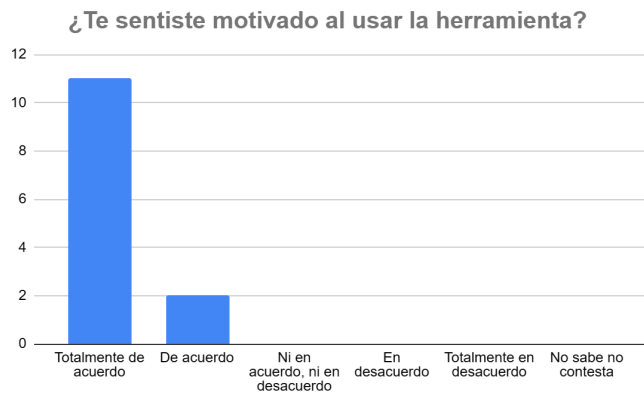


Ilustración 34: Gráfico de resultado - ¿Este tipo de sesiones es más interesante que la sesión tradicional?



Ilustración 35: Gráfico de resultado - Veo el potencial de esta herramienta para un eventual uso profesional



Ilustración 36: Gráfico de resultado - Recomendaría esta herramienta



En la sección temática de “Uso y funcionalidad” tanto como en la de “Motivación e interés” los datos muestran una contundente tendencia hacia un desempeño positivo de la herramienta. Esto implica que los voluntarios lograron dominar rápidamente la tecnología de realidad virtual así como la herramienta, considerando esta una opción cómoda y de fácil uso, Ver gráficos 26, 29, 30, 31 y 32.

Solo se observa una respuesta ligeramente menor en las preguntas sobre “El entorno en realidad virtual es inmersivo y realista”, ver gráfico 27, y “La retroalimentación es clara e intuitiva” , ver gráfico 5, donde se encuentra igual cantidad de respuestas tanto para “Totalmente de acuerdo” como para “De acuerdo”.

Este resultado demuestra una gran aceptación de la tecnología y fácil adaptabilidad por parte de los voluntarios, los cuales no demostraron problemas a la hora de colocarse el equipo, usarlo o enfocar correctamente en el mismo. Ver gráfico 26 y 30. Así como la concordancia por parte de los voluntarios en que la herramienta genera más interés en la terapia que una sesión tradicional. Se atribuye esto a las actividades lúdicas introducidas bajo gamificación de la terapia. Ver gráficos 33 y 34.

El entorno virtual, si bien es inmersivo en muchos casos las texturas aún son simples y la calidad gráfica no es equivalente a la realidad, debido al costo computacional y de desarrollo que esto implicaría. Esto podría explicar que algunos voluntarios solo estuvieran “de acuerdo” con este apartado, ver gráfico 27. En cuanto a la retroalimentación, ver gráfico 28, la necesidad de atravesar una menú de “Reiniciar” y luego otro para “Comenzar”, luego de cada actividad hace que las métricas sean difíciles de analizar y la experiencia puede perder fluidez, lo que puede resultar molesto a algunos voluntarios y es un área en la que se podría mejorar.

En cuanto a Mareos, vértigo o malestares (como dolor de cabeza, dolores musculares a nivel de cuello, visión borrosa, entre otros), no se reportaron problemas durante la prueba y esto fue reflejado en las respuestas de los voluntarios. Ver gráfico 32.

En base a las respuestas de “Recomendaría esta herramienta” y “Veo el potencial de esta herramienta para un eventual uso profesional” se considera que la herramienta fue considerada como prometedora por parte de los participantes. Ver gráficos 35 y 36.

12.1.3 Eficacia de entrenamiento

En esta área temática solo se consideran relevantes las respuestas de los voluntarios de la muestra N°1. Por lo tanto el n=3.

Ilustración 37: Gráfico de resultado - La integración visual ayuda a mejorar la percepción auditiva

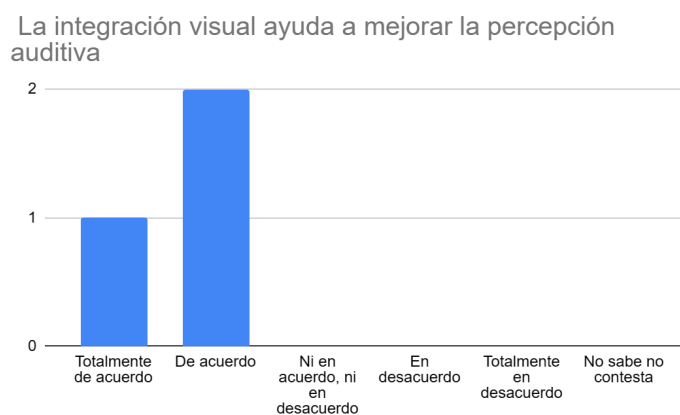


Ilustración 38: Gráfico de resultado - La herramienta mejoró mi habilidad de percepción espacial del sonido

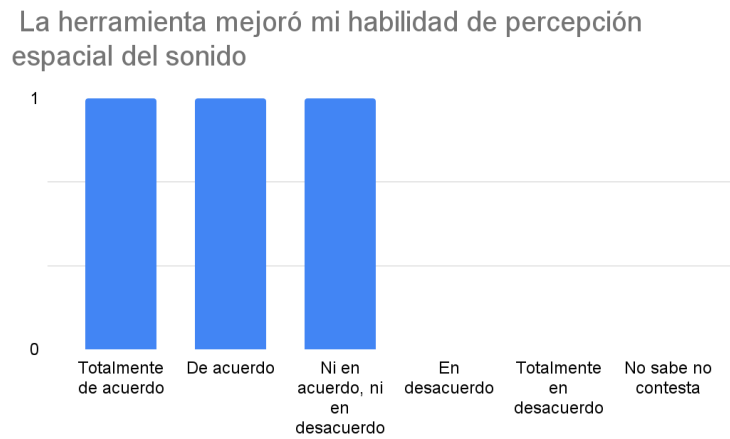


Ilustración 39: Gráfico de resultado - Pude identificar claramente la dirección de los estímulos

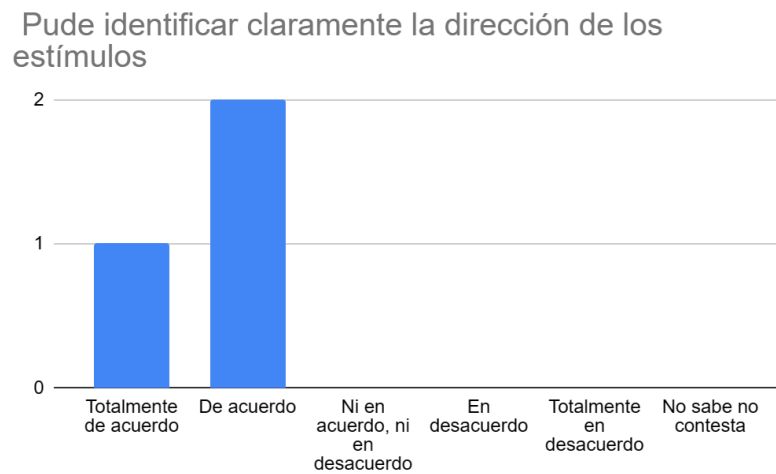


Ilustración 40: Gráfico de resultado - La adaptabilidad de la herramienta a diversos perfiles de pacientes es evidente

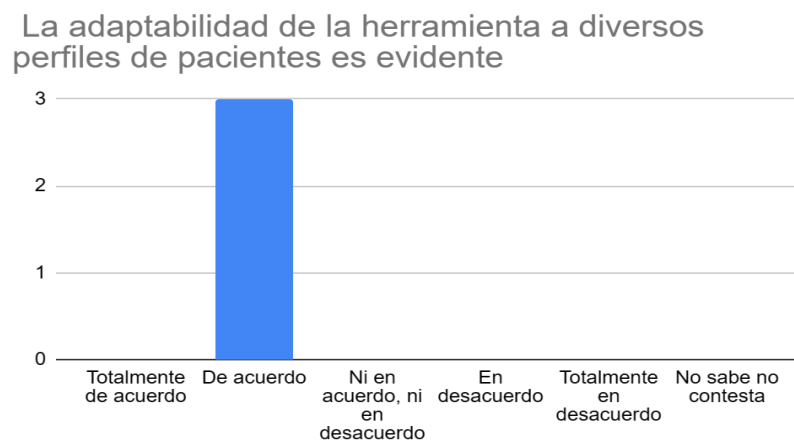
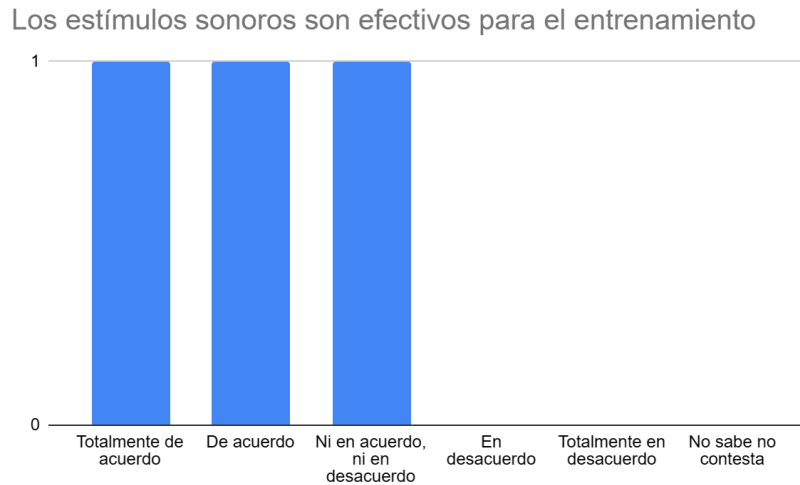


Ilustración 41: Gráfico de resultado - Los estímulos sonoros son efectivos para el entrenamiento



En la sección temática de “Eficacia de entrenamiento” se observa una dispersión mayor de las respuestas, que si bien mantiene su media en “De acuerdo”, es menor que en las muestras de las dos áreas temáticas anteriores. La tabla de resultados obtenidos durante la muestra se encuentra disponible en el anexo III.

Este resultado demuestra una aceptación positiva de los Licenciados en Fonoaudiología a la herramienta, pero que debido a la etapa del producto, aún no puede ser escalado a una aceptación total. Ver gráficos 37, 38, 39 y 40.

Es interesante destacar la dispersión en la pregunta sobre si los estímulos sonoros son efectivos para el entrenamiento, ver tabla 41. Esto podría explicarse en base a que la espacialización aún no se logró de manera efectiva o porque los estímulos seleccionados quizás no sean óptimos en su totalidad.

12.2 Análisis de costos

Para dimensionar la magnitud del proyecto se hace necesario realizar una breve descripción de los gastos que se abordan en el mismo. Los gastos se pueden dividir en dos grandes áreas: los costos de mano de obra del desarrollo del software y el costo del hardware utilizado en el proyecto.

Debido a las fluctuaciones de la moneda local y la internacionalización de los insumos utilizados en el proyecto, los valores monetarios utilizados en los siguientes incisos serán expresados en Dólares Estadounidenses (U\$D) siendo todos valores obtenidos al día 8/11/2023.

12.2.1 Mano de obra

Para la determinación del coste de mano de obra se utilizó el precio internacional de para un desarrollador de nivel de un nivel “Trainee”/”Junior” siendo estos el equivalente a un desarrollador en el comienzo de su formación y en consecuencia los de menor costo/hora. Según los salarios consultados en los portales online de: Unity Jobs [38], “Indeed”, “Linkedin” y “Glassdoor”, se estima un precio/hora de 7 U\$D.

Para el cálculo de las horas de desarrollo se estima que se utilizaron unas 400 horas hombre en el desarrollo del software. Ver tabla 3.

Tabla 3: Costo de mano de obra

Horas totales	Costo/Hora	Costo total
400	7 U\$D/Hora	2800 U\$D

12.2.2 Hardware

Para la determinación del valor que implica la adquisición del hardware se excluye el coste del equipo de audio junto a parlantes y altavoces ya que en esta etapa se plantea que la herramienta sea adaptable a equipos existentes. Se propone en el tópico de Trabajos futuros la estandarización de un equipo de sonido o arreglo de parlantes para utilizar en concordancia con la herramienta.

El costo de las gafas de realidad virtual Oculus Quest 2 es de 300 U\$D en su página oficial [10] para el mercado estadounidense por lo que sumado a tasas, costes de importación y transporte en el mercado local ese valor se incrementa rondando entre los 600 y 1200 U\$D.

Por último el cable Jack 3.5 macho-macho ronda los 5 U\$D mientras que los cables USB Tipo 2 de 1,5 metros de longitud, los 10 U\$D.

12.2.3 Total

La sumatoria de los valores analizados en los incisos anteriores se expresa en la tabla 4 a continuación.

Tabla 4: Costos totales

Item	Costo (U\$D)
Mano de obra	2800
Gafas Oculus Quest 2	600
Cables	15
Total	3415

13 Discusión

Los principales tópicos de discusión que abordaremos en este segmento es la aceptación de la herramienta por parte de los profesionales, la comparación frente a las opciones de mercado existentes, las limitaciones que se observaron en desarrollo de la herramienta, en la representatividad de la muestra así como las implicaciones encontradas frente al planteo de una posible adopción de la herramienta desarrollada por parte de los profesionales en la práctica. Se sugieren posibles enfoques para abordar estas limitaciones en cada uno de los incisos.

En cuanto a la aceptación de profesionales se observa que los mismos se encuentran interesados en la herramienta, pero queda claro que aún se necesita mejorar y validar la misma antes de escalar a una etapa de uso de campo. Mientras que por parte de los pacientes la aceptación mostrada fue correctamente validada con pacientes normo-acústicos pero aún no se tuvo contacto con los pacientes de los grupos de interés como niños que aún no haya habilitado su audición espacial o adultos que hayan sido privados de la misma por un largo tiempo. La facilidad de uso reportada en las encuestas dio como resultado de forma mayoritaria la respuesta “Totalmente de acuerdo”, ver tabla 3, aunque este resultado podría variar significativamente en grupos como niños o adultos mayores, que podrían enfrentar problemas de comunicación debido al aislamiento del entorno o dificultades en la adaptación a la realidad virtual.

Dado a que el proyecto trabaja en un área innovadora se encuentra escaso material bibliográfico en el campo para realizar comparaciones frente a otros autores. Lo cual aumenta la complejidad de cuantificar la eficacia del proyecto. Dada las características mencionadas anteriormente el proyecto de “ReviAPP” [22] se presenta como un punto de partida para realizar una comparación, a pesar de las diferencias notables entre ambos proyectos.

La primera discrepancia entre ambos estudios radica en el tamaño limitado de la muestra con la que se llevó a cabo este proyecto la cual vislumbra la posibilidad de que las mediciones no hayan sido estadísticamente representativas. Otro diferencia es el tipo de campo con el que se trabaja, mientras que el equipo de ReviAPP generó su propio arreglo de 8 parlantes bajo un sistema octofónico en el trabajo presentado se trabajó tan solo comerciales como: estéreo, auriculares y Quad (siendo este último limitado por dificultades materiales).

También se plantea como un paso necesario realizar una validación de los resultados. Para ello es necesario la aplicación de una prueba cualitativa de validación junto a un seguimiento en el tiempo de un grupo muestral trabajando frente a terapias de rehabilitación. En pos de este objetivo debería ampliarse el tamaño de la muestra y diversificarse la misma, con participantes de distintos rangos etarios, regiones geográficas, de distintos niveles socioeconómicos y educativos. A su vez se podrían incorporar grupos de control que no utilicen la herramienta o que utilicen métodos convencionales de rehabilitación auditiva para comparar los resultados.

De esta forma se podrían obtener resultados más representativos. Aunque la realización de dichas pruebas se tornan dificultosas debido a la falta de protocolos de evaluación, tratamiento y seguimiento. Como se menciona en [39], surge la necesidad de cuantificar los efectos secundarios de la rehabilitación con realidad virtual.

Es interesante mencionar el desafío que se genera en la primera aproximación por parte de la muestra a una tecnología disruptiva como es la realidad virtual ya que si bien genera interés puede ser no necesariamente la solución más adecuada al problema y solo es elegida por lo novedosa que esta resulta.

En cuanto a limitaciones técnicas se plantea la posibilidad de optimizar las experiencias de la realidad virtual mejorando la inmersión y realismo del entorno virtual basándose en un sistema de retroalimentación continua con los usuarios y profesionales para realizar ajustes en la herramienta.

Otro tópico de discusión es la incorporación de opciones de personalización en el software de la herramienta lo que permitirá al terapeuta definir ajustes personalizados para adaptarse a diferentes perfiles de pacientes.

Otro punto que no se incluyó en el análisis inicial pero que consideramos importante destacar es el problema que se plantea a la hora de planificar la adopción y adquisición de la herramienta en el uso práctico debido a los costos expresados en la sección análisis de costos.

La variable económica genera que tanto para el mercado local como el mercado latinoamericano y el de demás países en vías de desarrollo donde las brechas existentes de desigualdad social e inequidad en el acceso de la salud son muy elevadas, la adquisición de un equipo de este costo sea problemático y se convierta en insumo oneroso. Lo que genera que sea poco rentable utilizar un equipo de este tipo solo para trabajar un grupo de habilidades auditivas. Una posible solución a lo mencionado es la integración de diversas aplicaciones que atraviesen transversalmente diversas problemáticas auditivas de forma tal que la adquisición de unas gafas sea una inversión más rentable para un departamento de fonoaudiología.

14 Conclusiones

Se considera que el objetivo principal del proyecto: “Favorecer el entrenamiento y la rehabilitación auditiva mediante la integración de los estímulos espaciales sonoros en entornos virtuales.” fue realizado con éxito, verificando la viabilidad técnica del desarrollo la aplicación en realidad virtual la cual integró estímulos visuales a los sonoros generando aplicaciones lúdicas.

Los conceptos de gamificación se pudieron aplicar correctamente mediante la generación de entornos interactivos, siendo estos bien aceptados por parte de los usuarios y generando un fuerte interés en ellos, además de mucha retroalimentación por parte de los profesionales para la implementación de futuras actualizaciones.

La integración de los estímulos sonoros a los visuales se cumplió generando una experiencia interactiva y funcional, dejando la puerta abierta a mejoras.

En cuanto a la aceptación por parte de los profesionales, se ha reflejado tanto en las pruebas de validación como en el trabajo de campo, donde se ha recibido una retroalimentación constante, compromiso y un gran interés en el desarrollo de la herramienta.

En el caso de los usuarios, se ha observado y cuantificado una fuerte aceptación e interés por parte de los usuarios normoacústicos, superando con creces las expectativas de uso de la herramienta. Sin embargo, aún es necesario validar la aceptación de grupos de interés, como niños y adultos mayores, frente a la tecnología.

A pesar de los logros expresados en este informe, queda un largo camino por recorrer antes de que esta herramienta pueda considerarse una opción en el campo de la rehabilitación auditiva. Se requieren mejoras técnicas en la herramienta, así como la necesidad de realizar estudios de campo estandarizados y replicables para evaluar su eficiencia, funcionalidad y cuantificar la evaluación de los usuarios a lo largo del tiempo.

15 Trabajos futuros

Si bien se concluyó que la herramienta es factible técnicamente y las pruebas obtuvieron una buena aceptación por parte de los voluntarios muestreados, como se expresó en la discusión el proyecto está lejos de ser un producto final y posee aún mucho trabajo a futuro. La herramienta aún se enfrenta a desafíos técnicos y de validación para demostrar su eficacia y poder ser llevada al campo.

Es importante mencionar que el proyecto actúa como precedente para futuros trabajos interdisciplinarios entre la Fonoaudiología, la Ingeniería Biomédica y las tecnologías inmersivas como la Realidad Virtual, pudiendo continuar su evolución mediante la implementación o integración de nuevas funciones.

A continuación se enumeran posibles mejoras a futuro:

- Generar una prueba cualitativa para validar la herramienta
- Realizar un estudio con pacientes, tribunal de ética y seguir la evolución de los mismos.
- Implementación de modelos 3D con seguimiento labial para trabajar con la habilidad auditiva del habla.
- Implementar funcionalidades para la detección de sonidos en forma espacial trabajando con fuentes a distintas alturas.
- Adaptación a entornos urbanos utilizando imágenes 360° de entornos reales.
- Implementación de entornos con mayor interactividad.
- Realizar un arreglo de parlantes con un formato no comercial.
- Depurar el código y mejorar el rendimiento de la aplicación.
- Integrar otras aplicaciones de manera tal que se puedan utilizar gafas de realidad virtual para brindar soluciones en diversas áreas de rehabilitación fonoaudiológica.
- Validación y análisis heurístico de la usabilidad de la herramienta.

16 Bibliografía y Referencias

[1] Informe mundial sobre la audición : resumen ejecutivo [World report on hearing: executive summary]. Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 2021. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO <https://doi.org/10.37774/9789275324677>

[2] World Health Organization. International Classification of Functioning, Disability and Health. Geneva: World Health Organization 2001.

[3] E.R. Calcagno, E.L. Abregu, and R. Oscar Vergara, "Revisión de los aspectos más relevantes en el estudio de la percepción auditiva de distancia," *Interamerican Journal of Psychology*, vol. 48, no. 1, pp. 3-12, 2014.

[4] Deterding, S., Khaled, R., Nacke, L. E., & Dixon, D. Gamification: Toward a definition. In *CHI 2011 gamification workshop proceedings* (Vol. 12, p. 15). (2011, May).

[5] H. E. Cantore and D. A. Beltramone, "Paradoja: El trabajo interdisciplinario sigue 'dividiendo al individuo'," *Rev. Argent. de Bioingeniería*, vol. 14, no. 2, pp. 17-20, Nov. 2008, ISSN 0329-5257.

[6] L. Murdin, M. Sladen, H. Williams, D.E. Bamiou, A. Bibas, D. Kikidis, A. Oikonomou, I. Kouris, D. Koutsouris, N.H. Pontoppidan, "EHealth and Its Role in Supporting Audiological Rehabilitation: Patient Perspectives on Barriers and Facilitators of Using a Personal Hearing Support System With Mobile Application as Part of the EVOTION Study," *Front. Public Health*, vol. 9, Jan. 14, 2022, Art. no. 669727, doi: 10.3389/fpubh.2021.669727. PMID: 35118034; PMCID: PMC8805639.

[7] E. L. Abregú, "Percepción de distancia aplicada a la composición sonora," Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Quilmes, Bernal, Argentina, 2018. Disponible en: <http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/837>

[8] J. E. Hall, Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology, 14th ed., Elsevier España, S.L.U., 2021.

[9] E. Sánchez Terradillos, E. Gil-Carcedo Sañudo y J. Pérez Sáez, Libro virtual de formación en ORL - FISIOLÓGIA AUDITIVA. España, 2014.

[10] H. E. Lowood, "Virtual reality (VR) | Definition, Development, Technology, Examples, & Facts", en *Encyclopedia Britannica*. 1998. Accedido el 29 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.britannica.com/technology/virtual-reality>

[11] "Meta Quest 2". Meta – Shop VR headsets and smart glasses. Accedido el 29 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.meta.com/quest/products/quest-2/>

[12] Valencia-García, R., Lagos-Ortiz, K., Alcaraz-Mármol, G., Cioppo, J. del, & Vera-Lucio, N. (2016). Technologies and Innovation: Second International Conference, CITI 2016, Guayaquil, Ecuador, November 23-25, 2016, Proceedings. In *Google Books*. Springer. https://books.google.com.ar/books?id=bZZyDQAAQBAJ&pg=PA146&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

[13] I.Ouazzani, "Manual de creación de videojuego con Unity 3D", Univ. Carlos III Madrid. Dep. Inform., Madrid, 2012. [En línea]. Disponible: <http://hdl.handle.net/10016/16345>

[14] "Unity Student". Unity. Accedido el 29 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://unity.com/products/unity-student>

[15] "Unity - Manual: XR architecture". Unity - Manual: Unity User Manual 2022.3 (LTS). Accedido el 9 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://docs.unity3d.com/Manual/XRPluginArchitecture.html>

- [16] "Unity - Manual: Asset workflow". Unity - Manual: Unity User Manual 2022.3 (LTS). Accedido el 9 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://docs.unity3d.com/Manual/AssetWorkflow.html>
- [17] Cortés M del CM, Morón MTP, Góngora DP, López-Liria R, Ación FL. Métodos De Intervención En Discapacidad Auditiva. *Int J Dev Educ Psychol*. 2008;3(1):219- 24.
- [18] Gasso T, Gasso JM. Rehabilitation by lip-reading & auditory training of post-dihydrostreptomycin deafness; its special characteristics. *Acta Otorhinolaryngol Iber Am*. 1957;8(2):289-97.
- [19] "Definición de LSE - FeSorCam". FeSorCam. Accedido el 1 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.fesorcam.org/definicion-de-lse/>
- [20] "Recursos tecnológicos para la intervención en trastornos del lenguaje oral y escrito". Universitat de València. Accedido el 1 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.uv.es/bellochc/logopedia/NRTLogo7.wiki>
- [21] Contreras Usseglio RM. Musicoterapia. *Rev Actual Clínica Investiga*. 2011;9(1):44-7.
- [22] D. Laverde Robayo, Reflexiones sobre la utilidad de la realidad virtual en la práctica fonoaudiológica, *Rev. Colomb. Rehabil.*, vol. 13, n.º 1, pp. 26-33, dic. 2014.
- [23] ReviAPP: Daikhes NA, Vladimirova TYu, Sapozhnikov YaM, Machalov AS, Martynova AB. The effectiveness of auditory training using virtual reality technologies in persons with chronic sensorineural hearing loss. *Vestnik Oto-Rino-Laringología*. 2021;86(6):17-21. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/otorino20218606117>
- [24] "Entrenador de restauración auditiva ReviAUDIO". Simuladores de rehabilitación multisensorial REVI. Accedido el 1 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://revi.life/products/reviaudio/>
- [25] "Entornos virtuales | HARVI". HARVI | (Re)Habilitación auditiva en ambientes de ruido. Accedido el 1 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://harvieunate.com/entornos-virtuales>
- [26] "AC40 | Audiómetro clínico | Interacoustics". Equipment for Diagnostic Audiology and Balance Testing | Interacoustics. Accedido el 1 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.interacoustics.com/es/audiometros/ac40>
- [27] "Auriculares para audiómetros Sennheiser - Exámenes de alta frecuencia - Diseño cerrado dinámico con protección para los oídos - HDA 300". Sennheiser: Auriculares, Micrófonos y Sistemas inalámbricos. Accedido el 8 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://es-mx.sennheiser.com/audiometers-headphones-high-frequency-testing-closed-dynamic-ear-protector-hda-300>
- [28] "Oculus Spatializer Plugin for Unity - Requirements and Setup: Unity | Oculus Developers". Developer Center. Accedido el 9 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: https://developer.oculus.com/documentation/unity/audio-osp-unity-req-setup/?locale=es_ES
- [29] "Unity - Manual: Scenes". Unity - Manual: Unity User Manual 2022.3 (LTS). Accedido el 9 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://docs.unity3d.com/Manual/CreatingScenes.html>
- [30] "Unity - Manual: GameObjects". Unity - Manual: Unity User Manual 2022.3 (LTS). Accedido el 9 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://docs.unity3d.com/Manual/GameObjects.html>

[31] "Unity Asset Store - The Best Assets for Game Making". Unity Asset Store - The Best Assets for Game Making. Accedido el 1 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://assetstore.unity.com/>

[32] "Unity - Manual: Unity 's Asset Store". Unity - Manual: Unity User Manual 2022.3 (LTS). Accedido el 9 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://docs.unity3d.com/Manual/AssetStore.html>

[33] D. Bertram, "Likert scales," Nov. 2007, vol. 2, no. 10, pp. 1-10.

[34] A. Matas, "Diseño del formato de escalas tipo Likert: un estado de la cuestión," Revista Electrónica de Investigación Educativa, vol. 20, no. 1, pp. 38-47, 2018. <https://doi.org/10.24320/redie.2018.20.1.1347>.

[35] "Godot Engine - Free and open source 2D and 3D game engine". Godot Engine. Accedido el 10 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://godotengine.org/>

[36] "XR Interaction Toolkit | XR Interaction Toolkit | 1.0.0-pre.8". Unity - Manual: Unity User Manual 2022.3 (LTS). Accedido el 9 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.interaction.toolkit@1.0/manual/index.html>

[37], A., McPherson, B., Kramer, S. E., Hormazábal, X., & Hickson, L. (2012). Adaptation of the Amsterdam inventory for auditory disability and handicap into Spanish. *Disability and Rehabilitation*, 34(24), 2076–2084. <https://doi.org/10.3109/09638288.2012.671884>

[38] "Unity Careers". Unity Careers. Accedido el 9 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://careers.unity.com/>

[39]R. Alvarez-Otero, "Revisión sobre la aplicación de la realidad virtual en la rehabilitación vestibular," *Rev. ORL*, vol. 11, no. 1, pp. 97-106, 2020. [En línea]. Disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2444-79862020000100010&lng=es

17 Anexos

17.1 Anexo I - Acuerdo de consentimiento informado y confidencialidad

ACUERDO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO Y CONFIDENCIALIDAD

Título del Proyecto: Prototipo de herramienta para la rehabilitación auditiva del sonido espacial basada en realidad virtual.

Investigador Principal: Beinotti. Gabriel Eduardo

Ubicación: Departamento Raquel Maurette, Facultad de Fonoaudiología, Universidad Nacional de Córdoba.

Introducción: Este documento sirve como acuerdo de consentimiento informado y confidencialidad para participar en el proyecto de investigación mencionado anteriormente. El propósito de este proyecto es evaluar la factibilidad de la utilización de una herramienta la cual combina un entorno de Realidad virtual junto a equipos de audio como medio para entrenamiento y rehabilitación auditiva. Se realiza en el marco del proyecto integrador de la carrera de Ing. Biomédica, FCEFYN, UNC.

Participación Voluntaria: Su participación en este proyecto es completamente voluntaria. Puede decidir no participar o retirarse en cualquier momento sin consecuencias negativas.

Procedimientos:

- Como participante en este proyecto, se le solicitará la utilización de las gafas de realidad virtual de manera que pruebe los escenarios descritos, así como el análisis de la visualización de datos. Posterior a esto, el voluntario deberá completar un Test de Likert con su experiencia seleccionando entre las opciones. Muy en desacuerdo – En desacuerdo – Ni de acuerdo/Ni en desacuerdo – Muy de acuerdo – Muy en desacuerdo - No sabe/No contesta.

Confidencialidad:

- Todos los datos recopilados durante este proyecto se mantendrán estrictamente confidenciales y se utilizarán únicamente para fines de investigación. Los datos se almacenarán de forma segura y no se divulgarán a terceros sin su consentimiento explícito.

Derechos del Participante:

- Tiene derecho a hacer preguntas sobre el proyecto, sus procedimientos y los riesgos asociados antes de dar su consentimiento.
- Tiene derecho a retirar su consentimiento en cualquier momento sin penalización.
- Tiene derecho a acceder a la información sobre el proyecto y a los resultados una vez que estén disponibles, si así lo desea.

Contacto:

Si tiene alguna pregunta o inquietud relacionada con este proyecto, puede ponerse en contacto con el Investigador Principal: Beinotti, Gabriel Eduardo mediante la siguiente dirección de correo electrónico: gabriel.beinotti@mi.unc.edu.ar.

Consentimiento:

Al firmar a continuación, doy mi consentimiento para participar en el proyecto mencionado anteriormente y entiendo que mis datos se manejarán de manera confidencial.

[] Acepto participar en el proyecto.

Nombre del Participante: _____

Firma del Participante: _____

Fecha: __/__/2023

17.2 Anexo II - Test de Likert

Tabla 5: Cuestionario entregado a los voluntarios

¿La herramienta es fácil de usar?					
Totalmente en Desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo	No sabe/no contesta
El entorno en realidad virtual es inmersivo y realista					
Totalmente en Desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo	No sabe/no contesta
La integración visual ayuda a mejorar la percepción auditiva					
Totalmente en Desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo	No sabe/no contesta
¿Te sentiste motivado al usar la herramienta?					
Totalmente en Desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo	No sabe/no contesta

¿Este tipo de sesiones es más interesante que la sesión tradicional?					
Totalmente en Desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo	No sabe/no contesta
Pude identificar claramente la dirección de los estímulos					
Totalmente en Desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo	No sabe/no contesta
La retroalimentación es clara e intuitiva					
Totalmente en Desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo	No sabe/no contesta
Recomendaría esta herramienta					
Totalmente en Desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo	No sabe/no contesta

La herramienta mejoró mi habilidad de percepción espacial del sonido					
Totalmente en Desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo	No sabe/no contesta
La experiencia con las gafas resultó cómoda					
Totalmente en Desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo	No sabe/no contesta
Tuve mareos, vértigo u otro tipo de malestar al usar las gafas					
Totalmente en Desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo	No sabe/no contesta
El diseño y la navegación de la herramienta es intuitiva					
Totalmente en Desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo	No sabe/no contesta
Los estímulos sonoros son efectivos para el entrenamiento					
Totalmente en Desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo	No sabe/no contesta

El dispositivo es confortable y ergonómico					
Totalmente en Desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo	No sabe/no contesta
Veo el potencial de esta herramienta para un eventual uso profesional					
Totalmente en Desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo	No sabe/no contesta
La adaptabilidad de la herramienta a diversos perfiles de pacientes es evidente					
Totalmente en Desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo	No sabe/no contesta

17.3 Anexo III - Respuestas Test de Likert

Tabla 6: Total de respuestas según área temática “Funcionalidad de entrenamiento”

	[La integración visual ayuda a mejorar la percepción auditiva]	[La herramienta mejoró mi habilidad de percepción espacial del sonido]	[Pude identificar claramente la dirección de los estímulos]	[Los estímulos sonoros son efectivos para el entrenamiento]	[La adaptabilidad de la herramienta a diversos perfiles de pacientes es evidente]
Totalmente de acuerdo	1	1	1	0	1
De acuerdo	2	1	2	3	1
Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	0	1	0	0	1
En desacuerdo	0	0	0	0	0
Totalmente en desacuerdo	0	0	0	0	0
No sabe / No contesta	0	0	0	0	0

Tabla 7: Total de respuestas según área temática “Uso y funcionalidad” y “Motivación e Interés”

	El entorno en realidad virtual es inmersivo y realista	[La retroalimentación es clara e intuitiva]	[El diseño y la navegación de la herramienta es intuitiva]	[El dispositivo es cómodo y ergonómico]	[La experiencia con las gafas resultó cómoda]	[Tuve mareos, vértigo u otro tipo de malestar al usar las gafas]	[¿Te sentiste motivado al usar la herramienta?]	[¿Este tipo de sesiones es más interesante que la sesión tradicional?]	Recomendaría esta herramienta	[Veo el potencial de esta herramienta para un eventual uso profesional]	[La herramienta es fácil de usar?]
Totalmente de acuerdo	5	6	9	9	10	0	11	8	10	10	12
De acuerdo	6	6	4	3	3	0	2	4	3	3	1
Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	2	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0
En desacuerdo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totalmente en desacuerdo	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0
No sabe / No contesta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0